

624.19

Б-51.

Народный Комиссариат Путей Сообщения.

Л. Н. Бернацкий.

ИСКУССТВЕННЫЕ
СООРУЖЕНИЯ
МАЛОРАЗВЕРСТΙΑ
И
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДООТВОДЫ.

ИЗДАНИЕ

РЕДАКЦИОННО-ИЗДА

ТЕЛЬНОГО ОТДЕЛА

МХПС



(ЦБП.)

МОСКВА, ул. ЖОПЛУМЫ, 5.

Каталог Изданий НКПС,

имеющихся в продаже в Центральном Складе изданий НКПС,

Москва, ул. Коммуны, 5. — ~~50~~ — ~~53~~ — Петроград, Фонтанка, 117.

Цены в дензнаках 1922 г.

1. Обзор состояния и работы транспорта в 1921 г. 750.

I. Тяга и подвижной состав.

2. Руководство для производства холодных и горячих промывок и продувок паровых котлов паровозов. 100.
3. Инж. С. П. Сыромятников. — Работа паровоза 150.
4. Его же. — Работа паровой машины 150.
5. Инж. К. Г. Кудрявцев. — О порядке ведения участковой технической отчетности на жел. дор. 100.
6. Инж. Кунолевский. — Номограмма для оценки экономичности работ паровых водокачек 50.
7. Справочник по паровозам паровозостр. завода Р. (С. А. С. Ш. Пенсильвания, Филадельфия) 300.
8. Справочник по паровозам Сев.-Американской железной дороги 300.
9. Инж. М. Е. Правосудович. — Памятка тяговому персоналу паровозов. Изд. 3-е. 500.
10. Инж. Д. А. Штанге. — Памятная книжка начальника службы тяги 300.
11. Его же. — Памятная книжка для начальника службы тяги, в двух отделах, в переплете 2000 — без переплета. 1800.
12. Проф. Сапожников. — Определение влажности в дереве. 50.
13. Инж. Э. Э. Геневич. — О нормах расхода топлива на жел. дор. 150.
14. Неосведомленные данные опытов над паровозами типов: 0—5—0 Э; 1—3—0 Нп; 1—4—0 Ш; 0—4—0 Оп; 1—3—1 С; 0—3—0—0—3—0 Ож; 1—3—0 Ншп; 1—3—0 Нш. по 75.
- 1—3—0 Нп 142; 1—3—1 С 20; 1—3—0 Нз 84; 2—0—3 Б 17. по 100.
15. Первый съезд работников нового паровозостроения. 100.
16. Инж. Э. П. Цизаревич. — Американская автоматическая сцепка (M. C. B. Coupler) 100.
17. В. Н. Вальяжников. — Слабление жел. дорог торфом 100.
18. Г. Фассольд. — Катехизис кочегара 300.
19. М. В. Воронцов-Вельяминов. — Организация участка тяги. 150.
20. Н. Л. Щукин. — Автоматическая сцепка и непрерывные тормоза для подвижного состава. 100.
21. М. А. Караванов. — Турная езда 300.
22. Инж. В. Лебедев. — Хлорирование воды на водонапорной башне Александровского завода Николаевской жел. дор. 160.
23. Инж. Попов, Э. П. Цизаревич и Микульский. — Отопление паровозов угольным порошком. 600.

II. Железнодорожные мастерские.

24. Инж. И. Н. Бутанов. — Оплата труда мастеровых и рабочих в жел.-дор. мастерских. 150.
25. Его же. — Простая кооперация в применении к главным железнодорожным мастерским. 50.
26. Инж. И. В. Блюм. — Премирование в главных мастерских 150.
27. Инж. С. Н. Маслениников. — Результаты обследования работ на станках в железнодорожных паровозных мастерских 1912—1916 г.г. 450.
28. Характеристика большого и среднего ремонта паровозов и тендеров и установление предельных норм износа их частей 1921 г. 100.
29. Инж. И. Е. Гершензон. — Производственная программа Харьковских паровозных мастерских Южных ж. д. 150.

См. продолжен. стр. 3 и 4.

Л. Н. Бернацкий.

У

624.1
0-57

ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ МАЛОГО ОТВЕРСТИЯ.

и
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДООТВОДЫ.

4369

Книжка
1922 г.

9a ✓

проверено
1908 г.



МОСКВА.

1-я типо-литография „Пролетарское Слово“, Б. Переяславская, 46.
1922.

Главлит. № 4015 Москва.

Тираж 2000 экз.

Искусственные сооружения малого отверстия и поверхностные водоотводы.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

При постройке новых железнодорожных линий преимущественным вниманием строителей пользуются большие мосты, да оно и немудрено: мосты эти стоят дорого, требуют, обычно, довольно сложных оснований, требуют весьма тщательной разбивки и неослабного надзора за производством работ и, наконец, являются сооружениями „на виду“; благодаря этому, многие способные инженеры стремятся принять участие в постройке больших мостов, причем, обычно, считается, что чем больше отверстие моста, тем почетнее должность строителя.

Все вышеуказанные обстоятельства вызвали к жизни обширную литературу на разных языках о проектировании и постройке мостов большого отверстия, как целиком, так и в деталях (кессоны, мостовые фермы и т. д.); практика выработала целый ряд правил и приемов постройки, создала многих подрядчиков-специалистов и специалистов-инженеров или техников, посвятивших свою жизнь строительству крупных искусственных сооружений.

В совершенно ином положении обстоит дело с трубами и мостами малого отверстия, на которые смотрят, чаще всего, как на сооружения второстепенные, возводимые по одному общему шаблону и потому не требующие ни особого тщательного и детального проектирования, ни особого надзора при выполнении работ; этот взгляд, повидимому, царит и в технической литературе, которая почти ничего не посвящает вопросу о рациональном проектировании малых искусственных сооружений. В результате, многие из них оказываются спроектированными или расположенными нецелесообразно, либо просто плохо построенными, так что впоследствии приходится их заменять, перестраивать и дополнять новыми. В отдельности, расходы на подобное улучшение сооружений, плохо или неправильно построенных и спроектированных, может быть и не велики, но в сумме, благодаря большому числу малых мостов и труб, эти расхо-

ды дают цифры очень почтенные. Несомненно, что в будущем, при особо спешном и интенсивном железнодорожном строительстве в России, вышеуказанные дефекты могут повлечь за собой громадные расходы, как при самой постройке, так и, особенно, при эксплуатации.

Одна из главнейших причин неудачной проектировки малых искусственных сооружений заключается в упомянутом выше взгляде на шаблонность их; на самом деле, шаблонными могут быть только *типы* устоев и перекрытий, применение же их к индивидуальным особенностям данного сооружения требует подробного ознакомления с местными условиями и согласования с последними того или иного шаблонного типа, а иногда—и полного отступления от него.

Исходя из этой точки зрения, я поставил своей задачей отнюдь не детальное рассмотрение различных типов устоев, быков, сводов или ферм, ибо полагаю, что долгий опыт позволил уже выработать их достаточно целесообразными. Моя задача заключается в том, чтобы по возможности наметить и осветить принципы правильного применения уже существующих типов к местным условиям; так как одним из условий сказанного применения является рациональное устройство поверхностных водоотводов, т.-е. русел и канав, подводящих воду к искусственным сооружениям, то рамки статьи пришлось соответственно расширить.

По своим целям, настоящий труд является продолжением моей книги: «Деформации земляного полотна», а потому в дальнейшем мне неоднократно придется ссылаться на последнюю.

Л. Бернацкий.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

**Искусственные сооружения
малого отверстия.**

ГЛАВА I.

Количество искусственных сооружений.

Проведение железнодорожной линии в корне нарушает режим поверхностных вод; действительно, кроме тех, довольно редких, случаев, когда линия идет по гребню водораздела, железнодорожное полотно трассируется по склонам речных долин и озерных котловин, по большей части, довольно пологим. До постройки дороги, весенняя и ливневая вода стекает по этим склонам ровным слоем, собираясь затем в рытвины и ложбины, далее в ручьи и логи и, наконец, в речки и реки. Проведение полотна дороги, преграждающего свободный сток воды, влечет за собой два коренных изменения в режиме последней: во первых, *в тех логах, где устраиваются искусственные сооружения, количество воды увеличивается*, благодаря тому, что к ним устремляется вода, ранее стекавшая в направлении более или менее нормальном к линии и после постройки дороги перехватываемая канавами, идущими параллельно ей; во вторых, *в районе между искусственными сооружениями, расположенными с низовой стороны линии, количество поверхностной воды уменьшается*, благодаря вышеупомянутому перехватыванию ее.

Последствия сказанных изменений могут быть таковы:

1.—В логах с искусственными сооружениями:

А. *Затопление берегов*: этот случай встречается весьма редко и может иметь место лишь при очень значительном количестве воды, добавляемой к протекающей нормально, и при очень отлогих берегах.

Б. *Заливание нижележащих возделываемых земель и лугов*; случай этот может иметь место, если отводимая к искусственным сооружениям вода несет много взвешенных землистых частиц:

В. *Размыв лога*, происходящий весьма часто и зависящий от многих причин: чем меньше уклон лога, чем более отлоги его берега, чем гуще он покрыт растительностью, тем вероятность размыва меньше; но особенное значение имеют свойства грунта—так, в грунтах лёссовых, черноземных, слабоглинистых, мелкопесчаных и мелко супесчаных размыв происходит очень легко; труднее всего под-

даются размыву грунты твердоглистые и крупнопесчаные, не говоря уже о каменистых и щебенистых. В зависимости от суммы вышеприведенных факторов, размыв может наступить при ничтожном увеличении количества протекающей воды или, наоборот, не последует при очень значительном увеличении расхода последней. Лучшее всего можно судить о вероятности размыва по оврагам, существующим в районе линии и, особенно, несколько ниже ее; раз там существуют свежеразмытые овраги, то и в логе против искусственного сооружения надо ждать легкого и быстрого размыва; если таких оврагов нет, то и размыв у сооружения может последовать только при одновременном наличии нескольких из вышеприведенных неблагоприятных условий и при значительном увеличении количества притекающей воды. Нужно обращать внимание и на то, что в некоторых грунтах (щебенистые и мергельные) можно принять за результат размыва естественные осыпи выветренного грунта; качество последнего должно указать на эту ошибку.

2.—В районах между искусственными сооружениями:

А. Уменьшение и даже полное прекращение размывания оврагов.

Б. Большая сухость всего района, ввиду прекращения доступа весенней и ливневой воды, стекавшей ранее из местности выше линии.

В. Прекращение всех живых (постоянных) водотоков, которые берут начало выше линии.

Из всех вышеперечисленных последствий изменения в режиме поверхностных вод одно всегда определенно полезно—это прекращение размывов в районе между искусственными сооружениями; в большинстве случаев безразлично увеличение сухости в том-же районе, вызываемое уменьшением количества протекающей весенней и ливневой воды. Что касается до остальных последствий, то все могут повлечь за собой претензии со стороны владельцев, иногда очень значительные; разумеется, если заливаются или заиливаются пустопорожные, невозделанные и негодные земли, то претензии вряд-ли могут иметь место, равно как не может вызвать их и прекращение доступа постоянно-протекающей воды к таким-же местам; но размыв оврагов, можно сказать, всегда влечет за собой претензии. Размывы, рано или поздно, но обязательно представляют собою опасность для линии, если их своевременно не прекратить; для линии-же часто часто бывает опасным заиливание русел, так как, вследствие его, отверстие сооружения может оказаться недостаточным, если наносы откладываются под сооружением или у входа в него.

Таким образом, последствия изменений в режиме протекания воды оказывается в большинстве случаев неблагоприятными для дороги и окрестного населения; казалось бы, поэтому, что для уменьшения этих вредных последствий,

следует возможно чаще располагать искусственные сооружения. В действительности, дело обстоит далеко не так: прежде всего, сколько-бы искусственных сооружений ни строилось, они не в состоянии вернуть местность в полной мере в прежним условиям, а в некоторых районах России достаточно ничтожного отсутиления от этих условий, чтобы вызвать новый размыв или ускорить уже наступивший; затем, всякое искусственное сооружение представляет собою слабое место линии, особенно деревянные мосты, которые могут сгореть и которыми нарушается непрерывность верхнего строения; последние имеет место и на железных мостах (кроме имеющих железобетонную и т. п. сплошную проезжую часть); даже такие сооружения, как каменные мосты и всякого рода трубы, требуют за собой усиленного надзора, в виду возможности засорения и подмыва; наконец, и в экономическом отношении слишком частое расположение искусственных сооружений невыгодно, в виду относительно высокой стоимости их.

Вышеизложенные соображения заставляют решать вопрос о количестве искусственных сооружений всецело в зависимости от местных условий, которые могут быть сведены в следующие группы: 1—местности с очень твердым грунтом (скала, щебень), при отсутствии большого количества обломков и мелких частиц, уносимых водой; 2—местности с нормальными условиями (не слишком размываемый грунт, отсутствие очень большого числа взвешенных частиц в воде, отсутствие многочисленных живых водотоков); 3—болота; 4—местности легко размываемые; 5—местности с большим количеством уносимых водой земляных частиц; 6—местности, обильные живыми водотоками; 7—горные и предгорные местности; 8—поймы рек.

По каким-бы местностям линия ни проходила, количество и расположение искусственных сооружений должны удовлетворять тому основному условию, чтобы *нигде вдоль линии не было вызванного ее проведением застоя воды*; мало того, даже скопления стоячей воды, существовавшие до постройки, должны быть по возможности выпущены из района, непосредственно прилегающего к дороге; выпуск этот бывает обычно возможен, если скопления воды невелики (пруды, ямы, очень часто неслишком большие болота), и к нему следует прибегать всюду, где он не влечет за собой чрезмерно крупных затрат на работы или на вознаграждение владельцев *).

*) Пропуск воды в отдельных случаях может совершаться не только под полотном, помощью искусственных сооружений и канав, отводящих к ним воду, но и в сторону, помощью поперечных отводных канав или канав, отводящих воду вдоль линии, но впадающих в какой-либо естественный водоток ниже последней. Преимущество канав, отводящих воду в сторону от линии, заключается в том, что они не только сокращают число искусственных сооружений, но и не увеличивают количества воды в тех из последних, которые всё-же

1. *Местности с очень твердым грунтом.* Сюда относятся плоскогорья, невысокие холмы и скаты долин с грунтом, состоящим из скалы, щебня, ломовой глины или мергеля, но не местности в высоких горах и предгорьях, так как в последних случаях к расположению сооружений предъявляются несколько повышенные требования (см. ниже). В разбираемом же случае достаточно иметь в виду высокую стоимость земляных работ, благодаря которой отводных канав следует избегать и располагать искусственные сооружения а priori возможно чаще.

2. *Местности с нормальными грунтами.* Для большего удобства рассмотрения, разделим эти местности на 2 категории—с небольшим поперечным скатом и с значительным поперечным скатом (где снимаются поперечные профили).

А) *В местностях с небольшим поперечным скатом,* искусственные сооружения первоначально намечаются по продольному профилю в наиболее глубоких логах, по возможности редко, лишь там, где бассейны логов весьма значительны. Когда эти первые и неизбежные сооружения нанесены на профиль, делается проверка достаточности их количества, сперва техническая, а затем—экономическая. Техническая проверка заключается в том, что от выбранного места сооружения, от заданной отметки его русла, проводится линия с подъемом не менее 0,002, а лучше 0,003 (только в исключительных случаях 0,001 и 0,0015) и затем проверяется, всюду-ли эта линия, которую назовем *линией стока воды*, проходит ниже поверхности земли; если она нигде не поднимается выше, то с технической стороны намеченное число сооружений достаточно; если же она выходит из пределов профильной линии грунта, то в соответствующих местах приходится делать добавочные искусственные сооружения. Однако, в некоторых случаях возможно и здесь обойтись без искусственных сооружений, а именно, когда лог, в котором линия стока поднимается *немного* выше уровня земли, имеет очень крутой уклон; в подобном случае, отводная канава может быть начата с достаточно высокой отметки, отступя на большее расстояние от полотна (черт. 1). Этот способ следует применять только в

приходится устраивать. Вопрос о том, что выгоднее в каждом данном случае—пропуск под полотном или отвод в сторону, решается путем сравнения денежных расходов, которые при устройстве канавы будут очень различны, не только в зависимости от стоимости земляных работ и отчуждения, но и в зависимости от размываемости грунта, ибо в грунтах, сильно размываемых, приходится предвидеть и укрепление канавы у выхода ее. Более подробно устройство отводных канав описано во второй части, здесь же достаточно указать на то, что прежде назначения искусственных сооружений необходимо наметить те лоцины, из которых вода может быть выпущена в сторону, и путем сравнения стоимости окончательно выбрать способ выпуска воды из них.

тех случаях, когда количество воды, протекающей по отводному лугу, не очень велико; в противном случае, правильное пропустить воду отдельным искусственным сооружением.

Неизбежным результатом технической проверки оказывается, что на длинных низинах и болотах, искусственные сооружения приходится располагать чаще, чем на местности, имеющей естественный продольный уклон. Между тем, при нанесении на профиль сооружений, очень часто с этим не считаются, исходя из того соображения, что на низинах и болотах земляные работы для отвода воды очень невелики, но совершенно упуская из виду, что эти небольшие работы дают очень скверный сток воде и последняя застаивается у линии. Указанного ошибочного взгляда надо решительно избегать и на первый план ставить техническую проверку возможности хорошего стока.

Экономическая проверка производится путем сравнения примерной стоимости устройства отводной канавы и искусственного сооружения, причем при проектировании первой (разумеется, приблизительно, по продольному профилю дороги) стремятся к наименьшему количеству земляных работ.

В тех случаях, когда недостаточность уклона заставляет располагать на одной низине несколько сооружений, экономическая проверка заключается в обследовании вопроса: не выгоднее ли будет прибегнуть к устройству под одним из них углубленного искусственного русла, хотя-бы и очень большой длины, но позволяющего выбросить одно или несколько из первоначально намеченных сооружений. При производстве правильной экономической проверки в расчет должны браться не только строительная стоимость, включающая также расходы по отчуждению, но и эксплуатационная, достигающая очень значительных размеров при большой длине искусственных русел и при большой глубине отводных канав.

Когда произведены техническая и экономическая проверки, и на профиль нанесены основные и дополнительные искусственные сооружения, необходимо произвести еще две проверки. Первая имеет целью сократить число искусственных сооружений и заключается в том, что на профиле выбираются участки близ больших насыпей и глубоких болот, и на них наносятся потребные резервы вдоль насыпей и разработка выемок в виде резервов (см. гл. VII); резервы и разработанные выемки могут оказаться настолько длинными, широкими и глубокими, что проведение по дну их отводной канавы уже не представить ничего особенно затруднительного или дорогого; примеры таких случаев приведены на черт. 2 (резерв) и 3 (раскрытая выемка). Аналогичное сокращение числа сооружений можно произвести и в районе балластных карьеров.

Вторая добавочная проверка имеет обратную цель, а именно—увеличение числа искусственных сооружений; ей подвергаются исключительно длинные выемки. Если в пределах такой выемки, или выше нее, имеется ясно выраженная низина, настолько глубокая, что дно ее ниже полотна, или, примерно, в одном уровне с ним (черт. 4), то на этой низине предпочтительнее поставить искусственное сооружение, чем отводить ее отдельной канавой вдоль полотна, хотя-бы отвод был технически и экономически вполне возможен. Объясняется это тем, что по упомянутым низинам атмосферная вода обильно просачивается в грунт и насыщает дно и откосы нижележащей выемки, вызывая пучины и сплавы откосов; для уничтожения этих вредных последствий и является весьма важным обеспечить воде из низин быстрый и удобный сток *). Обыкновенно, устройство поперечного выпуска для воды делается лишь у длинных выемок глубиной не менее 1—1,5 саж., но в сырой местности устройство поперечного выпуска может потребоваться при очень неглубокой и сравнительно короткой выемке; обратно, выемки в сухом песчаном грунте, даже при очень большой длине и глубине, могут обходиться без поперечного выпуска, так как они пучин и сплывов не боятся. Помимо того, крупнопесчаные выемки почти всегда разделяются под карьеры, что существенно облегчает выпуск воды.

Вышеуказанного осушения выемки можно достигнуть, лишь придав стоку достаточную глубину (не менее 0,80 саж. ниже бровки полотна и с обязательным углублением ниже естественного дна не менее 0,40 саж.), почему зачастую здесь могут потребоваться довольно длинные выходные русла, но это не должно останавливать строителя, так как постройка в данном месте искусственного сооружения даст серьезное улучшение и сбережение средств при эксплуатации; кстати сказать, означенное углубление должно простираться и на довольно значительную длину *выше* линии, чтобы обеспечить выемку от просачивания воды во всем смежном районе.

Всё, сказанное о второй добавочной проверке, разумеется, не относится к тому случаю, когда, в силу потребности в земле, выемке придается профиль разделки под насыпь. В этом случае, глубина отводной канавы может быть придана вполне достаточная, так как дно ее лежит *minimum* на 0,60 саж. ниже бровки полотна. Словом сказать, здесь вторая добавочная проверка аннулируется первой.

Однако, не следует думать, что число искусственных сооружений остается у нас фиксированным после вышеуказанного нанесения их и последующих проверок; как в рассматриваемом, так и во всяком другом случае число искус-

* Если низина представляет собой простую выемку, то, конечно, отвод из нее воды канавой вполне допустим, так как грунтовые воды циркулируют совершенно независимо от поверхности размыва.

ственных сооружений может быть увеличено, если окажется более удобным пропустить в некоторых местах проезжие дороги и скотопрогоны под полотном, используя, за одно, устраиваемое отверстие для пропуска воды; если переезд расположен на насыпи около 2 саж. и более, это—почти всегда наиболее правильное решение. Затем, на число сооружений может повлиять и род грунта под сооружением; если он очень плох, требует устройства сложного основания и вынос сооружения затруднителен, то иногда оказывается более выгодным вовсе не строить сооружения, а заменить его отводной канавой. Обратно, при очень твердом, водоносном или плывучем грунте в первоначально намеченной канаве или резерве может оказаться более рациональным построить вместо них искусственное сооружение. Оба эти случая подробно рассмотрены в отд. 5 гл. VI.

Б) Если линия идет по крутому косогору, то назначение искусственных сооружений по продольному профилю будет неправильно, в виду того, что овраги могут быстро выклиниваться и фактически почти целиком окажутся заполненными откосом насыпи; помимо того, продольный профиль по оси линии, может давать совершенно ложное представление о профиле по оси отводной канавы. Поэтому, при распределении искусственных сооружений по косогорам, следует пользоваться не только продольным профилем, но и поперечными, и уже на последних наносить водоотводные сооружения, проверяя возможность отвода воды от пониженных точек. Нужно указать, что отвод помощью канав может допускаться на косогоре лишь в случае очень небольшого протекания воды и малой длины отвода, так как сооружение глубоких канав на косогоре дороже, чем на ровной местности, и вследствие большого количества земляных работ, и вследствие необходимости более сильных укреплений, вызываемой большой скоростью воды при крутом уклоне лога; эта большая скорость делает особенно опасным засорение канав, отводящих значительное количество воды, а вероятность засорения очень велика именно на логах с крутым уклоном при резком переходе в пологий уклон отводной канавы.

3. Болота при малой глубине их (до 1,5 саж.) допускают расположение искусственного сооружения в любом месте; но при большой глубине устройство основания настолько удорожается, что искусственное сооружение приходится в большинстве случаев выносить на край болота, где оно неглубоко, или вовсе за пределы его. При малой длине болота подобное вынесение не влечет за собой особых затруднений с водоотводом, но при большой—дело обстоит иначе. Допуская уклон водоотвода по болоту только в 0,001, мы имеем на болоте, длиной в 1 версту, разницу в отметках 2,50 саж.; предполагая глубину водоотвода в начале его в 0,20 саж., получаем глубину в конце—0,70 саж.; такова-же, очевидно, и глубина выходного русла, причем последняя может, по

мере отдаления от линии, еще увеличиваться. Рытье на 0,70 саж. в мокром грунте довольно дорого и затруднительно, но если выходное русло не длинно, то с этим еще можно мириться; при большой-же длине выходного русла или при длине болота свыше версты, приходится делать сравнение—не выгоднее-ли поставить сооружение по середине болота, несмотря на дорого-стоящее основание; последнее решение оказывается безусловно выгодным там, где по середине болота находится место с меньшей глубиной, что иногда случается. Но при очень большой глубине болота дело обстоит иначе; тогда следует посмотреть, не окажется-ли самой выгодной третья возможность—устройство двух сооружений, по одному с каждого конца болота. Выбор здесь, как и в предыдущем случае, основывается на чисто-экономических соображениях. При болотах, тянущихся на целые версты, уже и двух сооружений может оказаться недостаточным и число их придется увеличивать, располагая промежуточные сооружения по возможности там, где глубина болота в середине уменьшается. Во всяком случае, число сооружений избирается так, чтобы стоимость их, вместе с водоотводом, была наименьшая.

К сказанному нужно добавить, что даже в том случае, если не предполагается делать специальных выходных русел, в виду их большой стоимости и, следовательно, не делать боковых водоотводов, то, всё-же, предвидеть их необходимо, на случай осушения болота. Более подробно об этом изложено в гл. III.

4. *Местности с размываемым грунтом.* В них, при нанесении на профиль искусственных сооружений, необходимо поставить себе определенную задачу—*насколько возможно сократить число последних*, хотя-бы ценою значительных работ. Таким путем, число русел, подлежащих рано или поздно укреплению, сводится до минимума и попутно достигается прекращение или значительное уменьшение размыва в оврагах, лежащих между искусственными сооружениями. Размыва в отводных канавах нечего особенно бояться, так как им на большей части длины может быть придан настолько малый уклон (0,002—0,003), что при нем простая дерновка будет достаточной защитой; укрепления более солидные сосредоточиваются у выхода.

Нужно добавить, впрочем, что сказанное относится лишь к тем оврагам, размыв которых еще не дошел до линии и сосредоточен в низовых частях оврага; если-же размыв имеет место и выше линии, то отвод подобного оврага делается только тогда, когда возможно *весь размывший участок выше линии* надежно укрепить; в противном случае, из оврага будет выноситься большое количество наносов, что в корне изменяет принцип числа искусственных сооружений; к рассмотрению этого случая мы и приступим.

5. Местности с большим количеством наносов, отлагаемых водой. В каждом потоке воды находится во взвешенном виде большее или меньшее количество земляных частиц, которые отлагаются при внезапном уменьшении скорости потока; последнее имеет место при резком переходе крутого уклона в пологий, при внезапном уширении ложа, при крутых поворотах и при встрече струй под углом, близким к прямому. Поэтому, как общее правило для всех водоотводных сооружений, следует принять: *резкие переходы от крутого уклона к пологому, внезапные уширения ложа, крутые повороты и устройство боковых впусков под углом близким к прямому — недопустимы*; боковые впуски следует делать или по кривой, касательной к направлению основной струи, или, если этого по местным условиям сделать нельзя, то под углом не свыше 45^0 к указанному направлению.

Количество взвешенных частиц тем меньше, чем более заросла окрестная местность травой, кустами и т. д., и достигает очень значительных размеров на вспаханных местностях; поэтому, канавы, проходящие вдоль пашни, особенно черноземной, очень скоро засоряются и требуют частой прочистки; но это равномерное занесение водотоков не очень толстым слоем земли не представляет собой опасности, хотя и неудобно, особенно там, где по черноземной пахоте проходит много небольших ложбинок, так как около них отложения осадков идет интенсивнее и менее равномерно. Некоторые меры паллиативного характера (плетни, илодержательные плотины, посадки и т. д.) могут несколько уменьшить сказанное неудобство. Аналогичные меры *обязательно* должны применяться и там, где количество наносов очень велико, но в последнем случае паллиативность сказанных мер заставляет прибегнуть и к иным средствам обеспечения линии от повреждений; а повреждения эти могут быть весьма серьезны, если отложившиеся наносы в несколько минут забивают русло сооружения или отводную канаву: в лучшем случае происходит перелив воды, задержанной наносами, через полотно и размыв балласта, а в худшем — промыв полотна, иногда на значительном протяжении.

Очень большое количество осадков уносится размываемыми оврагами, а кроме них — перепаханными низинами в лёссовом и черноземном грунте, если бассейн этих низин сколько-нибудь значителен; затем, большее количество осадков дают, в некоторых случаях, мелкопесчаные грунты, особенно если они залегают в верховьях лога, и почти всегда рупенные мергеля и иловато-черноземные грунты; чем круче скат и чем он обнаженнее, тем количество осадков больше.

Благодаря тому, что уносимые осадки осаждаются при резком падении скорости, обычным местом отложения их служит та долина, в которую впадает данный лог или овраг; осматривая эту долину, возможно определить — имеются ли

основания опасаться наносов при проведении линии. Последняя может проходить или выше зоны отложения наносов, или в пределах таковой; эти случаи следует рассмотреть особо.

А) *Линия проходит выше зоны отложений.* Если осадки выносятся из частей оврагов, лежащих ниже линии, то, конечно, дело будет обстоять так-же, как в местности с размываемыми грунтами. Если вынос осадков происходит выше линии, но размыв обрыва еще не принял значительных размеров, то его возможно укрепить, и таким образом свести дело к предыдущему случаю.

Но раз будет установлено, что район, лежащий выше линии, дает большое количество осадков и нельзя принять меры к немедленному устранению их, то искусственные сооружения должны располагаться на всех логах, которые дают осадки, так как пропустить воду, не замедля скорости, по отводной канаве почти невозможно, а под искусственным сооружением такой пропуск возможен всегда. Подобное частое расположение искусственных сооружений не исключает необходимости принятия мер к задержанию осадков, особенно в районе между сооружениями, так как, при наличии соответственных грунтов, всякая ничтожная рытина или ложбинка дает весьма значительное количество осадков, неминуемо засоряющих даже короткие каналы между искусственными сооружениями; в самом-же логе, непосредственно подводящем воду к мосту или трубе, защитные меры от засорения принимаются лишь в том случае, если в самом сооружении или непосредственно выше его можно ожидать отложения осадков *), в виду резкого падения скорости протекающей воды.

Б) *Линия проходит в зоне осадков.* Этот случай встречается довольно часто, когда дорога проходит у подошвы косогора; условия пропуска воды тут очень неблагоприятны. Очень редко бывает возможным отдалить зону осадков от линии, путем прорытия искусственного русла, служащего продолжением лога, несущего осадки, и имеющего одинаковый с ним уклон; эта возможность может встретиться при террасовидном образовании местности, если линия проходит не по нижнему, а по одному из средних уступов террасы, и то при малой ширине последнего. В большинстве-же случаев приходится считаться, как с неизбежным злом, с отложением осадков во всех водоотводных и искусственных сооружениях данного района. Здесь, разумеется, следует принять все меры к защите от осадков, но, ввиду уже отмеченной паллиативности этих мер, приходится

*) При наличии отложений, особенно ниже линии, необходимо, во избежание претензий со стороны владельцев, своевременно составлять акт при участии последних или незаинтересованных лиц о том, что еще до постройки линии местность заносилась осадками.

считаться с возможностью занесения всех канав, идущих вдоль линии. Если это занесение последует, то вода должна иметь заранее приготовленные пропуски под путем, чтобы не произошло размыва полотна или балластного слоя; другими словами, иногда на одной низине приходится делать несколько искусственных сооружений и, притом, в тем большем количестве, чем низина длиннее и чем пересекающая ее насыпь ниже. Места для расположения сооружений намечаются при длинных низинах против каждого, сколько-нибудь значительного, оврага или лога, впадающего в них, так как главные струи воды, несомненно, будут направлены по продолжению этих оврагов или логов; если низина коротка и в нее впадает всего один овраг, то можно ограничиться одним сооружением, но придав ему хороший запас по высоте. Вообще говоря, проектировка линии по зоне наносов должна быть елико возможно высока.

Примеры расположения нескольких искусственных сооружений на одной низине, подверженной очень быстrotму отложению наносов, показаны на черт. 5-а и б; на черт. 5-а видна низина у подошвы лесового пологого косогора, на которой сперва была построена только труба А; через несколько лет после открытия движения пришлось построить мост Б, а еще через несколько лет мост В; ввиду малой высоты насыпи, под мостами Б и В пришлось прорыть очень глубокие искусственные русла (особенно под мостом В, расположенным в центре низины). На черт. 5-б показана линия, проходящая непосредственно у подошвы очень крутого косогора, по террасе между ним и берегом; в косогоре имеется несколько коротких оврагов, несущих массу наносов из рушенного мергеля; первоначально устроенная чугунная труба А забивалась ежегодно, тогда как мост Б работал хорошо; это объясняется тем, что под мостом руслу был придан крутой уклон, вполне соответствующий уклону оврага, тогда как труба А, проходящая под несколькими путями, получила пологий уклон; ввиду засорения трубы, через несколько лет, против одного из оврагов косогора построена еще круглая железобетонная труба В, но и ее оказалось недостаточно, почему приходится теперь строить открытый лоток Г, опять-таки расположенный против оврага. В обоих случаях были приняты меры для задержания наносов, но они сыграли и играют лишь второстепенную роль, хотя количество задерживаемых ими наносов очень значительно.

6. Местности с большим количеством живых водотоков расположены, обычно, по довольно крутому косогору, если только эти водотоки не проведены искусственно в низинах (оросительные и осушительные каналы). Эти естественные живые водотоки представляют собой ничто иное, как выходы наружу грунтовых вод и служат показателями обилия последних. В своей книге „Деформации земляного

полотна", я подробно рассматривал вредное влияние грунтовых вод на устойчивость полотна и указывал на необходимость рационального отвода их. Выход грунтовых вод наружу дает прекрасный способ устранения их вредного влияния простым путем постройки небольших искусственных сооружений на всяком, хоть сколько-нибудь значительном, живом водотоке, и этот путь необходимо возможно широко использовать; для лучшего осушения пропитанного водой косяга, необходимо только значительно углублять русла, что при наличии достаточного поперечного ската местности всегда возможно. Разумеется, существуют и настолько ничтожные живые водотоки, в виде малых ключей, что строить для них отдельные искусственные сооружения не стоит; вода из таких ключей может отводиться помощью дренажей, уложенных или под путем поперек его, или вдоль пути, до ближайшего моста или трубы; *продольные дренажи лучше заменять открытыми лотками или канавами.* Во всяком случае, и продольные, и поперечные дренажи, отводящие воду из поверхностных ключей, должны быть опущены на глубину непромерзания, и снабжены, во избежание засорения, трубами внизу; открытые лотки и канавы должны иметь такую-же глубину.

При пересечении оросительных канав, необходимо, во избежание претензий, каждую из них перекрывать отдельным искусственным сооружением, и это, обычно, не встречает никаких затруднений. Что касается до осушительных канав, то отвод их вполне допустим, так как возможно собрать их все в одну общую большую канаву, идущую вдоль линии и уже ее пропустить под искусственным сооружением; число сооружений здесь определяется всецело требованиями хорошего стока воды, как уже упомянуто при рассмотрении назначения числа сооружений при нормальных грунтах, а в частности на болотах.

7. *Горные и предгорные местности.* Горные реки существенно отличаются от равнинных своим капризным характером и крайне разрушительным действием. Причины этого могут быть весьма различны; так, исключительно жаркое лето может повлечь за собой таяние снегов в таких местах, где они, обычно, лежат круглый год, и этим вызвать громадное переполнение речек водой; какой-нибудь обвал или лавина могут преградить путь речке до тех пор, пока вода не прорвет преграду и не обрушится всеразрушающей массой на нижележащие местности; весьма многие горные реки несут наносы в ужасающем количестве и отложения их носят тогда катастрофический характер (т. н. *сели*).

Приняв всё это во внимание, и учтя высокую стоимость водоотводных работ в твердых грунтах гористых районов, мы должны признать, что в последних искусственные сооружения должны возводиться при пересечении со всяким ~~скачком~~ или низиной, и что водоотводов там следует по воз-

возможности избегать. Необходимо оговорить и то, что мосты и трубы в горах должны иметь хороший запас отверстия и, особенно, значительную высоту, а также быть надежно защищенными от подмыва.

Что касается дорог предгорных, то там отложения иногда образуют целые обширнейшие конуса и вода постоянно меняет свое направление, стекая то по одну, то по другую сторону конуса, или же сразу несколькими руслами. Эти последние, хотя бы в данное время были сухи, и служат показателями для расположения искусственных сооружений, причем, если бы следов нескольких русел не оказалось, то, всё же, следует ставить в пределах низин не менее трех сооружений (одно против середины конуса и по одному против концов). Вообще говоря, к дорогам предгорным относится все, сказанное о равнинных дорогах, проходящих в зоне отложений, но при условии соответственного увеличения числа искусственных сооружений, их отверстия и, особенно, высоты.

8. *Поймы рек.* При пересечении длинных речных пойм не рекомендуется устраивать дополнительных мостов сверх главных, пропускающих под собой всю массу воды. Однако, сплошь и рядом встречается необходимость в пропуске под линией осушительных канав, отводе воды из низин, затопляемых разливами, и т. д. В этих случаях, количество искусственных сооружений должно соответствовать действительной потребности в них, но с тем, чтобы на время половодья отверстия этих сооружений закрывались шандорами или щитами. Что же касается до сооружений, работающих и во время половодья, каковы, например, мосты на староречьях и боковых притоках, то возможность и необходимость устройства их зависит всецело от местных условий, которые учтены быть в общей форме не могут.

Необходимо лишь указать, что дополнительные сооружения, расположенные на пойме и работающие при проходе весенних вод, могут устраиваться только в том случае, если можно заранее предвидеть, что к ним не устремится главная масса речной воды; если этого предвидеть нельзя, то приходится давать дополнительному сооружению почти такое же отверстие, как и мосту на главном русле. Необходимо также иметь в виду, что дополнительные сооружения на широкой пойме работают с сильным подпором; действительно, можно с некоторым приближением сказать, что горизонт воды выше моста повышается в стороны от него на 0,05 — 0,10 саж. на версту, а ниже — понижается на ту же величину. Вследствие этого, необходимо все мосты в пределах поймы, работающие при проходе весенних вод, устраивать с достаточно надежным основанием и сильно укрепленным руслом, в виду большой скорости, развивающейся при значительной разнице горизонтов верховой и низовой стороны.

Глава II.

Расчет отверстий.

В сравнительно больших реках наибольшее количество воды протекает весной, после таяния снегов, и, следовательно, приурочено к определенному сроку. Подъем воды в значительной реке происходит у всех на глазах и, потому, обычно, показания местных жителей могут с довольно достаточной степенью приближения дать понятие о наивысшем, за долгий срок, подъеме воды; следы, оставляемые рекой при половодье, также дают некоторые указания на этот подъем, а на некоторых реках ведутся и соответственные записи теми или иными учреждениями. Во всяком случае, строители и изыскатели линий имеют возможность, и обязаны, в течение одного или нескольких лет наблюдать за подъемом воды и этим устанавливать контроль над полученными тем или иным путем сведениями; если пересечение реки происходит в пустынном месте, то следует одновременно установить наблюдения за проходом весенних вод в местности перехода и в ближайшем населенном пункте (или в пункте, где велись наблюдения за предшествовавшие годы); определив в последнем разницу горизонтов данного года и года с наивысшим подъемом воды, можно узнать и наивысший горизонт воды в месте перехода.

Определение скорости происходит или путем непосредственного наблюдения, или путем применения различных формул (напр., Гангиле-Куттера, Хемфрис-Эббота) и тогда все данные для расчета будут налицо. Порядка расчета отверстий мостов через большие реки мы приводить не будем, как выходящего за пределы нашей задачи; для желающих ознакомиться с порядком означенного расчета, в конце книги приведен пример его (Прилож. № 1).

В совершенно ином положении оказываются водотоки с малым бассейном, в которых количество протекающей воды может оказаться после сильного ливня много большим, чем весной; у нас, в России, к таким водотокам принято относить имеющие площадь менее 50 кв. в., но эту цифру правильнее брать лишь для равнинной местности; для горных-же местностей летние паводки могут дать значительно большее количество воды, чем весной, и с более обширных площадей.

Никаких наблюдений над малыми водотоками не производится; местные жители обращают внимание лишь на некоторые из них, угрожающие, при большом разливе, целости их владений; наконец, строители и изыскатели совершенно лишены возможности проверить в натуре наибольший расход воды, как неприуроченный к определенному сроку; ввиду всего этого, при расчете отверстий мостов и труб через малые водотоки, приходится определять расход лишь приблизительно. Для такого приблизительного определения существует ряд формул, чрезвычайно различного вида, но в которые, во все без исключения, входит, как необходимый элемент — площадь данного бассейна. Оно и понятно, так как, при прочих равных условиях, чем больше последняя, тем и расход воды больше, но дело-то в том, что равенства условий протекания почти не существует и расход воды в сооружении зависит не только от площади бассейна, но и от целого ряда входящих факторов. Первым из них, конечно, служит толщина выпадающего на квадратную единицу слоя воды при наибольших ливнях; в каждой формуле, хотя-бы в скрытом виде, влияние этой толщины учтено, т.-е. либо формула приурочена всецело к данной местности с определенной толщиной наибольшего водного слоя, либо в нее входит переменный коэффициент, зависящий от количества выпадающей воды; но влияние этого количества может учитываться лишь условно, так как, чем больше бассейн, тем меньше возможности, что вся его площадь целиком подвергнется исключительно сильному ливню, а чем он меньше, тем более эта возможность возрастает. Далее, громадное значение имеет длина бассейна, так как чем она больше, тем продолжительнее путь каждой капли ливня к линии и тем больше влаги испаряется и просачивается сквозь землю; уклон дна также имеет существенное влияние на скорость и, следовательно, на продолжительность протекания; такое-же влияние, хотя в меньшей степени, оказывает уклон боковых скатов. Некоторые формулы учитывают влияние и этих факторов, хотя, конечно, никакая формула не может учесть особо важного влияния крутых скатов в верховьи при значительной длине оврага, когда вода с них может догонять воду с нижележащих частей, пока ливень еще не кончился, и этим увеличивать расход под сооружением. Но есть такие факторы, которые никакому учету не поддаются, тем более, что иные из них — переменны; сюда относятся: степень проницаемости грунта, большая или меньшая ширина и прямизна ложа, разветвленность его, степень шероховатости ложа и откосов, наличие лесов, кустарников, возделанных земель и заселенных мест, степень сухости и влажности воздуха, так как от нее зависит испаряемость. Если и возможно учесть влияние одного - двух из сказанных факторов, то только весь-

ма приблизительно, да и то лишь при малых бассейнах, так как большие представляют собой крайне разнообразную картину вышеуказанных условий; к числу факторов, которые почти всегда могут быть учтены, хотя и весьма неточно, относится только степень водонепроницаемости ложа в ее крайних пределах (т.-е. могут выделяться особо бассейны с песчаным грунтом, как сильно-впитывающим воду, и со скалистым, как почти абсолютно не пропускающим).

В отдельных случаях, при расчете отверстий, кроме того, играют громадную роль и иные факторы, как-то: наличие обильных земляных осадков в протекающей воде, наличие естественных и искусственных запруд, и, наконец, наличие больших аккумулярующих резервуаров (напр., озер) в пределах данного бассейна. Влияние этих факторов рассмотрено особо, в отделе 4 настоящей главы, а теперь мы остановимся на нормах для расчета отверстий сооружений на тех бассейнах, где означенные дополнительные факторы места не имеют.

Все перечисленные обстоятельства, естественно, делают расчет отверстий лишь весьма приблизительным, так как исходная данная для него — расход воды — не может быть определена сколько-нибудь точно. Но эта неточность компенсируется тем, что отверстия искусственных сооружений на практике делаются лишь некоторых определенных размеров, разнящихся друг от друга на довольно большую величину; так, отверстия мостов обычно отличаются друг от друга на 1 сажень (или 2 метра) и реже на 0,5 саж. (1 метр); отверстия труб — на 0,25 саж. (0,5 метра). Таким образом, в виду того, что отверстие берется не расчетное, а ближайшее большее из типовых, влияние ошибки в задании парализуется. При этом, следует иметь в виду, что указанная поправка исправляет ошибку, сделанную в меньшую сторону; если же расчет дает преувеличенную цифру против действительной потребности, то сооружение будет иметь чрезмерно большое отверстие и, следовательно, будет неэкономично. Русские инженеры часто грешат в этом направлении, задавая мостам и трубам чрезмерно большие отверстия, в виду чего я считаю не бесполезным привести выдержку из книги *) американского проф. Бэкера „Каменные инженерные сооружения“: „Существует мнение — и в известных пределах оно правильно — что, если несколько из числа малых искусственных сооружений не выносятся ежегодно высокой водой, то сооружения данной линии спроектированы плохо; другими словами, разрушение правильно спроектированного сооружения каким-нибудь необыкновенным потоком воды есть только вопрос времени. Нетрудно построить сооружение, достаточно большое для того, чтобы оставаться в целости при любых обстоятельствах,

*) Baker „A Treatise on masonry construction“.

но разница в стоимости между подобным сооружением и таким, которое будет безопасным лишь в рациональных пределах, может в некоторых случаях с избытком окупить расходы по случайному размыву какого-нибудь сооружения. Лишь в редких случаях имеет смысл предвидеть то, что может случиться раз в 50 или 100 лет".

Учитывая крайнюю неопределенность факторов, от которых зависит расчет отверстий, проф. Бэкер с полным основанием указывает на предпочтительность наиболее простых формул, которыми фактически чаще всего и пользуются не только в Америке, но и в некоторых странах Западной Европы. К сожалению, в России всё еще стремятся отыскать наиболее точную формулу, благодаря чему не выработано тех опытных коэффициентов, которые давным-давно имеются за границей и которые позволяют крайне упростить расчет отверстий; поэтому, пока еще не обработаны данные, позволяющие определенно принять и для наших условий те или иные из западно-европейских или американских упрощенных формул, пользование сравнительно сложными расчетами у нас неизбежно.

Неопределенность данных для расчета в некоторых мало исследованных районах России может быть столь велика, что для этих районов следует применять американскую практику в аналогичных случаях, а именно — устраивать при постройке сооружения временного типа, заменяя их постоянными лишь после многолетних наблюдений. Это полезно и с точки зрения сбережений при постройке.

Все формулы для расчета отверстий могут быть сведены в 2 класса: а) дающие по площади бассейна сразу живое сечение или ширину отверстия искусственного сооружения; б) требующие последовательного расчета. В последнем случае, формула дает лишь количество притекающей к сооружению воды, на основании чего отверстие сооружения рассчитывается по той или иной формуле гидравлики, причем предварительно в некоторых случаях приходится определять еще скорость притекающей воды и ее горизонт.

Но, помимо этих формул, в отдельных случаях возможно использовать и иные методы: так, если вблизи есть существующее искусственное сооружение на том-же логе, то по его работе можно наметить и отверстие нового сооружения; если есть наблюдения над абсолютно-наивысшими горизонтами воды, то можно использовать их и вести расчет исходя из соответственно-определенного расхода воды, как это делается при расчете отверстий больших мостов. Особенно удобен подобный способ при замене деревянных мостов на существующей линии постоянными сооружениями и им следует пользоваться, в этом случае, возможно широко.

а) Формулы, дающие площадь или ширину стверстия непосредственно в зависимости от площади бассейна.

Таких формул очень много и данные их чрезвычайно разнообразны; профессор Николай в своем курсе мостов приводит следующие старинные формулы:

Название формулы.	На 1 версту:		Примечание.
	кв. фт. сечения.	пог. фт. отверстия.	
а) Голландская формула для плоских местностей	—	0,2	
б) Тоже для менее пологих скатов	—	0,5	
в) Дебова (Debauve) . . .	—	от 0,35 до 2,6	На 1 кв. км. 0,125—0,905 мт.
г) Закавказской ж. д. .		14	
д) Мари для ровной местности	0,61	—	
е) Тоже для гористой местности	1,53	—	
ж) Нижегородской ж. д.	3,43		0,0028 кв. сж. на 1000 кв. сж.; сильно преувеличено.
з) Кавена	1,9		

Все эти цифры очень разнообразны, но некоторые из них, всё-же, довольно согласованы между собою; чрезвычайно характерно большое отверстие для сооружений Закавказской ж. д., объясняемое свойствами горных рек, особенно в предгорных районах, уже описанными выше.

Из числа более новых формул, приведем общепотребительные в Сев. Америке формулы Майерса (Myers) и Толбота (Talbot).

Формула Майерса, широко применяемая в приатлантических штатах, т.-е. в районе с весьма влажным климатом, такова:

$$A = C\sqrt{F},$$

где A — живое сечение сооружения в квадр. футах, C — переменный коэффициент, равный единице для ровной ме-

стности, 1,5 — для холмистой и 4 — для горной и скалистой; F — площадь бассейна в акрах (43560 кв. ф.); если перевести эту формулу на русские меры, то при A в кв. саженях и F в квадр. верстах, коэффициенты C будут $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{4}{3}$; для метрических мер (квадратные метры и кв. километры) — 1,5, 2,5 и 6. Профессор Бэкер признает формулу Майерса дающей преувеличенные результаты для малых площадей бассейнов и преуменьшенные — для больших.

Формула Толбота имеет вид

$$A = C \sqrt[4]{F^3}$$

где A и F имеют то же значение, что и в формуле Майерса. Коэффициент C для скалистых и крутых скатов берется равным $\frac{2}{3}$ — 1; для слегка волнистой, пригодной для земледелия, местности, где имеет место быстрое снеготаяние, вследствие весенних сильных ливней, при длине бассейна, превышающей ширину в 3—4 раза — $\frac{1}{3}$; при большем отношении длины к ширине, коэффициент C уменьшается; для местностей, где длина значительно больше ширины и нет быстрого таяния снегов — коэффициент C берется равным $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$, а иногда и меньше. Коэффициент C должен повышаться как при крутых поперечных скатах оврага, так и при крутом продольном уклоне, особенно, если последний имеет место в верховьях бассейна. Для русских мер, при A и F , выраженных в квадр. саженях и кв. верстах, коэффициент C увеличивается в 1,4 раза, а для метрических — в 6 раз. Формула Толбота, по наблюдениям проф. Бэкера, дает довольно хорошие результаты, по крайней мере в ровной местности, причем во время особо-сильных ливней (раз в 4-5 лет) сооружения работают с небольшим подпором.

В американских формулах особое внимание останавливает на себе коэффициент C , который позволяет в широких пределах варьировать взаимозависимость между A и F ; приведенные выше значения C служат лишь исходными точками и в каждом данном районе приходится от этих точек более или менее отступать; поэтому, большая часть американских железнодорожных обществ выработала для условий своего района подходящие коэффициенты C , которыми и пользуются для расчета; с целью упрощения работы, американские дороги составили таблицы, где прямо дается живое сечение под мостом в зависимости от различных A и F .

В виду простоты американских формул и огромного удобства применения выведенных на основании их таблиц, было-бы желательным применить их и в России, для чего необходимо, однако, выработать и у нас для отдельных районов соответственные коэффициенты C . Эксплуатируемые дороги могут в этом отношении дать богатейший материал. Из двух американских формул правильнее было-бы оста-

новиться на формуле Толбота, так как квадратная зависимость между отверстием и площадью бассейна, принятая Майерсом, повидимому, неправильна и живое сечение сооружения должно возрасти быстрее с возрастанием площади бассейна, чем корень квадратный из последней.

б) Формулы, требующие последовательного расчета, невыгодно отличаются от формул предыдущей группы тем, что требуют довольно продолжительных вычислений, базисных, в конце-концов, на весьма неточном задании. Поэтому, мы не будем рассматривать их подробно, а остановимся лишь на формулах, общеупотребительных в России, так как давнее применение их дает возможность знать все их слабые стороны и в будущем устранить последние, введя соответственные поправки в числовые величины, входящие в формулы. *)

1. Способ определения расхода воды.

В 1884 году Министерство Путей Сообщения установило, как нормальную при расчете отверстий, формулу, предложенную австрийским инженером Кёстлином еще в 1868 году. Формула эта, в том виде, как она применяется у нас **), такова:

$$1) \dots\dots\dots Q = 1,875 \, a \, F$$

где Q есть полный расход в кв. саж., a — некоторый коэффициент, меняющийся в зависимости от длины бассейна, и F — площадь бассейна в кв. верстах.

Кёстлин составил свою формулу по наблюдениям над сильным ливнем в холмистой местности Баната, продолжавшимся 10 минут и давшим водный слой толщиной в 9,6 мм., так что его формула является частным случаем общей формулы:

$$2) \dots\dots\dots Q = k \cdot h \cdot a \cdot \beta \cdot F$$

где k — коэффициент поглощаемости, зависящий от качества грунта и принятый равным 1, h — толщина слоя выпадающей воды в секунду, a — коэффициент поглощения и испарения, зависящий от длины, β — от уклона, принятый Кёстлином равным 1 для холмистых местностей и 0,5 — для очень пологих, F — площадь бассейна. В применении к вышеуказанному частному случаю и в переложении на русские меры формула получает вид (1).

*) За границей подобные формулы применяются в Германии, Австрии и Швейцарии; из них для русских инженеров интересна только швейцарская формула Лаутербурга, изложенная в приложении № 2, как наиболее применимая к самым разнообразным местным условиям, не требующая сложных вычислений и с'емок.

**) Кстати сказать, в Австрии применяется почти тождественная с формулой Кёстлина формула Ржиха, составленная несколько позднее (в 70-х годах).

Длина бассейна, от которой зависит величина α , задана была Кёстлином в немецких милях (7 верст), а потому и в России предельными длинами для различного значения α являются на первый взгляд странные цифры, кратные семи, а именно:

Для бассейнов длиной до $3\frac{1}{2}$ верст	0,5
" " "	от $3\frac{1}{2}$ до 7 в.....	0,375—0,25 ($\frac{3}{8}$ — $\frac{1}{4}$)
" " "	" 7 до $10\frac{1}{2}$ в.....	0,1875 ($\frac{3}{16}$)
" " "	" $10\frac{1}{2}$ до 14 в.....	0,125 ($\frac{1}{8}$)
" " "	" 14 до 17,5 в.....	0,0625 ($\frac{1}{16}$).

В пояснении к своей формуле Кёстлин указывает, что для местностей пологих (а под таковыми он, очевидно, подразумевал крайне низменные и болотистые равнины Южной Венгрии), его коэффициенты могут быть уменьшены вдвое. Наше Министерство, переложив на русские права формулу Кёстлина, не сообразило того, что Кёстлин для районов с условиями средними между болотистой низиной и сильно-холмистой страной, очевидно, допускал переходные значения β между крайними пределами коэффициентов, и ввело условие, на основании коего для бассейнов с уклоном в 0,005 значение β уменьшается вдвое. Таким образом, получается явный абсурд: расход бассейна с уклоном 0,0049 оказывается вдвое меньше, чем у бассейна с уклоном 0,0051, а расход последнего равен расходу бассейна с уклоном 0,05 и более крутым.

Формула Кёстлина подвергалась неоднократной критике в русской технической литературе; из более новых указаний по этому поводу следует упомянуть подробный анализ проф. Дубелира (в книге: „Определение отверстий малых мостов“) и статью инж. А. Танненбаума в „Журнале М. П. С.“ за 1917 г. „Исправление норм Кёстлина“.

Проф. Дубелир указывает на то, что для коротких бассейнов (до $3\frac{1}{2}$ верст) общее количество поглощаемой и испаряемой влаги, определяемое произведением коэффициентов k , α , β , по Кёстлину равно 0,5, тогда как современные авторитеты принимают эту величину от 0,15 до 0,45; проф. Дубелир берет ее, в среднем, равной 0,25. Но не следует упускать из виду, что те авторитеты, на которые ссылается Дубелир, принимали свои нормы для расчета *городских* водосточков, а потому, естественно, относили их к более или менее ровной местности, с пологим продольным и поперечным скатом. В таких случаях и Кёстлин дает коэффициент β равным 0,5, так что произведение $k \alpha \beta$ следует, для сравнения, хотя-бы, с данными Фрюлинга, принимать равным $1 \times 0,5 \times 0,5 = 0,25$, т.-е. как раз той величине, которая и принята проф. Дубелиром. Если в нормах Кёстлина есть ошибка в данном отношении, то она заключается не в абсолютно-преувеличенном значении коэффициента α , но в том, что это значение принято одинаковым для всех длин менее $3\frac{1}{2}$ верст, тогда как в действительности оно

должно изменяться от 0,375 для $3\frac{1}{2}$ верст до 0,6 (примерно) для $\frac{1}{2}$ версты, а среднее значение относиться к длинам около 2 верст. Единый коэффициент α для всех длин менее $3\frac{1}{2}$ верст будет ошибочным, какова-бы ни была его абсолютная величина. Другое указание проф. Дубелира о недостаточной продолжительности ливня, принятой Кёстлином (10 мин.), почему получаются абсурдно-высокие скорости, чтобы вода верховьев длинного бассейна достигла до сооружения, пока дождь еще не кончился — теоретически совершенно правильно, но практически не имеет значения, так как в формулу Кёстлина оно не входит даже в скрытом виде и послужило лишь для определения секундной толщины слоя воды, выпадающей в пределах бассейна. Если же мы примем продолжительность ливня, дающего 1 мм. в минуту, равной двум часам, что весьма близко к действительно-наблюдавшимся случаям, то формула Кёстлина представляется вполне логичной и скорости протекания вполне допустимыми.

Действительно, если мы возьмем даже предельную длину бассейна в $17\frac{1}{2}$ верст, то средняя скорость протекания воды равна $\frac{17,5 \times 500 \times 7}{7200} = 8,5$ ф. в секунду; если иметь в виду

что при площади 50 кв. вер. и длине в 17,5 в. ширина бассейна равна всего 2,86 вер., т.-е. в 6 слишком раз меньше длины, то приходится прийти к заключению, что подобный бассейн представляет собой в действительности или горное ущелье, или размытую балку в степной местности, с уклоном не менее 0,007. А для таких ущелий или балок, при весьма крутых берегах, скорость 8,5 ф. в секунду вполне вероятна; правда, столь же вероятно, что при ней произойдет размыв берегов, но ведь этот размыв мы и наблюдаем в длинных степных балках и тех горных ущельях, которые проходят не сквозь очень твердые горные породы.

Инженер Танненбаум в своей статье обращает внимание почти исключительно на кажущуюся неправильность подбора коэффициента α для бассейнов различной длины и предлагает замену их другими. В общем возражения его сводятся к следующему:

Предположим, что имеем бассейн прямоугольной формы и разобьем его на части длиной по 3,5 версты (черт. 6), имеющие, следовательно, одинаковую площадь.

В этом случае, с участка А будет стекать, по Кёстлину, $1,875 \times \frac{3}{8} \times F$ куб. саж. воды; с участка А + В будет стекать $1,875 \times \frac{1}{4} \times 2 F = 1,875 \times \frac{1}{2} \times F$, а с участка В — $1,875 F (\frac{1}{2} - \frac{3}{8}) = 1,875 \times \frac{1}{8} \times F$. С участка А + В + В будет стекать $1,875 \times \frac{3}{16} \times 3 F = 1,875 \times \frac{9}{16} \times F$, а с участка В — $1,875 F \times (\frac{9}{16} - \frac{1}{2}) = 1,875 \times \frac{1}{16} \times F$.

До сего времени, следовательно, к основному притоку с участка А добавлялось прогрессивно-уменьшающееся количество воды с участков В и В, что вполне возможно.

Но с участком Г дело обстоит уже иначе: при длине 14 верст, с участка $A + B + B + Г$ расход будет $1,875 \times \frac{1}{8} \times 4 F = 1,875 \times \frac{1}{2} \times F$, т.-е. *меньше* на $\frac{1}{16}$, чем с участка $A + B + B$, и равняться расходу с участка $A + B$; прибавив участок Д, получим расход с площади $A + B + B + Г + Д$ равным $1,875 \times \frac{1}{16} \times 5 F = 1,875 \times \frac{5}{16} \times F$, т.-е. он будет меньше даже, чем на участке $A + B$. Совершенно аналогичное явление получается при трапецевидной или треугольной форме бассейна.

Эта кажущаяся несообразность объясняется на самом деле весьма просто, именно тем, что % воды, поглощаемый почвой и испаряющийся, на нижележащих участках всё возрастает по мере удлинения бассейна, а потому самое предположение о том, что с любого участка, находящегося в одинаковом расстоянии от линии, попадет обязательно одно и то же количество воды, как-бы длинен бассейн ни был, *a priori* неверно. На самом деле, во всяком бассейне уклон его уменьшается к низовьям и чем бассейн длиннее, тем это уменьшение больше. Если мы предположим, что бассейн, изображенный на черт. 6, засекается линией железной дороги *ab*, то к линии с участка А попадает гораздо меньше воды, чем попало-бы на нее с равновеликого и равноотстоящего участка Д, еслибы дорога шла по линии *eg*; эта разница объясняется исключительно большим просачиванием и большим испарением на нижележащем участке А, благодаря его меньшему уклону. Общий закон зависимости между потерей на просачивание и испарение и длиной бассейна вывести крайне трудно. Кёстлин принял очень пологую кривую падения количества притекающей воды в зависимости от длины, а именно — близкую к обратной пропорциональности корней четвертой степени из длины. Действительно, если мы обозначим длину участка в $3\frac{1}{2}$ вер. через *a*, то коэффициент *a* для отдельных участков будет, на основании только-что указанной зависимости, равным:

	При длине бассейна.				
	а.	2а.	3а.	4а.	5а.
Для участка А...	0,375	0,35	0,325	0,30	0,25
" " В...	—	0,375	0,35	0,325	0,30
" " В...	—	—	0,375	0,35	0,325
" " Г...	—	—	—	0,375	0,35
" " Д...	—	—	—	—	0,375

Возьмем бассейн длиной 7 верст и разобьем его на 2 участка длиной по $3\frac{1}{2}$ версты; вода с верхнего участка (Б) просочится и испарится при протекании по нему, так что к нижнему участку (А) подойдет только 0,375 общего количества воды, выпавшей на участке Б. При протекании этой воды по участку А произойдет дальнейшее просачивание и испарение, так что к сооружению с участка Б подойдет только $0,375 \times 0,35$ действительно-выпавшего количества воды; с участка А подойдет 0,35 количества воды, выпавшего на нем. Таким образом, для общего количества воды, подходящей к сооружению, имеем коэффициент α (всего бассейна) $= (0,375 \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) 0,35 = 0,24$ (у Кёстлина — 0,25). Рассуждая аналогичным порядком, увидим, что для бассейна в $10\frac{1}{2}$ верст $\alpha = (0,24 \times \frac{2}{3} + \frac{1}{3}) 0,325 = 0,16$ (у Кёстлина 0,19); для бассейна в 14 верст $\alpha = (0,16 \times \frac{3}{4} + \frac{1}{4}) 0,30 = 0,11$ (у Кёстлина — 0,125); для бассейна в $17\frac{1}{2}$ вер. $\alpha = (0,11 \times \frac{4}{5} + \frac{1}{5}) 0,25 = 0,07$ (у Кёстлина — 0,06). Если примем во внимание, что Кёстлин округлял свои результаты до целых чисел (соответственно слою в 1 мм.), а русские нормы округлены до соответственной цифры в $\frac{1}{16}$, то ясно, что полученная выше расходимость (0,01 для бассейнов в 7 верст, 0,03 для бассейнов в $10\frac{1}{2}$ верст, 0,015 для бассейнов в 14 верст и 0,01 для бассейнов в $17\frac{1}{2}$ верст) именно этим округлением и объясняется; стоит сравнить кривые изменений коэффициента α при разных длинах, изображенные на черт. 7-ом, чтобы убедиться в полной плавности и закономерности кривой АВСДЕ, вычерченной на основании точной вышеуказанной зависимости, и в совершенной случайности отступлений, сделанных от нее при составлении норм Кёстлина (кривая А'В'С'Д'Е').

Практика вполне подтвердила только-что изложенные соображения и показала, что для длинных бассейнов нормы Кёстлина не только достаточны, но, скорее, преувеличены; кривая черт. 7 вполне подтверждает это преувеличение, хотя и в меньшем размере, для длин 7,14 и, особенно, $10\frac{1}{2}$ верст.

Изложенное вполне объясняет, почему инженер Танненбаум, базируясь на неверном предположении постоянного количества воды, стекающей с равноотстоящего от линии участка, пришел к совершенно неверному и опровергаемому практикой выводу, а именно — к выводу о необходимости увеличить коэффициенты Кёстлина для длинных бассейнов; как раз эти-то коэффициенты скорее слишком высоки.

Несмотря на упомянутые несоответствия, нормы Кёстлина благополучно применялись у нас в течение весьма долгого времени и дали для средней России, в общем, хорошие результаты; только в коротких бассейнах с крутым уклоном нормы оказались преуменьшенными, в длинных бассейнах с уклоном довольно пологим — преувеличенными. Но когда железнодорожное строительство захватило окраины России,

то нормы Кёстлина оказались неудовлетворительными, а именно: в местностях с сильными ливнями, особенно в гористых, выяснилась недостаточность норм, а в местностях безводных — их преувеличенность. Иного и ожидать было нельзя, в виду того крайнего разнообразия, которое представляют окраины России в климатическом и орографическом отношении, и было бы весьма наивным рассчитывать, что одна и та же формула, с одним и теми же цифровыми данными, будет подходяща и для сухого приаральского района, и для многоводных речек Кавказа. На этом основании, отдельные дороги или ходатайствовали об изменении коэффициентов Кёстлина, или предпочитали свои формулы.

В 1901 году покойный проф. Николай, в виду указанных выше несообразностей в применяемых у нас Кёстлиновских нормах, ввел в них следующие поправки, которые впоследствии сделались более или менее обязательными для русских жел. дорог.

а) Общий вид формулы заменяется иным:

$$3) \dots Q = 1,875 \alpha \beta F$$

где вновь вводится коэффициент β , зависящий от уклона бассейна; значения α и β таковы:

При длине бассейна.	α	При уклоне.	β
$\frac{1}{2}$ версты и менее	1	0,001 и менее . .	$\frac{3}{16}$
1 верста " "	$\frac{11}{12}$	0,001 " " . .	$\frac{3}{16}$
2 " " "	$\frac{3}{4}$	0,002 " " . .	$\frac{1}{4}$
3 " " "	$\frac{7}{12}$	0,003 " " . .	$\frac{3}{16}$
3,5 " " "	$\frac{1}{2}$	0,004 " " . .	$\frac{3}{8}$
7 " " "	$\frac{1}{4}$	0,005 " " . .	$\frac{1}{2}$
10,5 " " "	$\frac{3}{16}$	0,007 " " . .	$\frac{7}{8}$
14 " " "	$\frac{1}{8}$	0,01 " " . .	1,3
17,5 " " более	$\frac{1}{16}$	0,05 " " . .	1,5

Промежуточные значения α и β определяются интерполяцией, причем при длине бассейна менее $\frac{1}{2}$ версты β не должно быть менее $\frac{1}{2}$.

б) Уклон i определяется по формуле $\frac{\sum b i l}{\sum b l}$, где b — ширина, а l — длина различных участков тальвега с однообразным уклоном.

в) Если площадь поперечных скатов с уклоном менее 0,003 составляет не менее $\frac{1}{3}$ общей площади бассейна, то приток уменьшается для площади в 5 кв. вер. на 20%, а для площади в 30 кв. верст на 30%, с промежуточными значениями, определяемыми интерполяцией.

г) Если в состав площади входит несколько второстепенных поперечных тальвегов, то расход определяется, как сумма притоков к главному и поперечным тальвегам.

д) Для местностей, подверженных исключительным ливневым водам (Кавказ, Черноморское побережье и т. д.) коэффициент 1,875 должен быть во столько-же раз увеличен, во сколько принимаемая для данной местности интенсивность ливня более интенсивности 1 мм. в 1 минуту; соответственно, может быть допущено и уменьшение коэффициента 1,875.

Рассмотрим по порядку, какие-же изменения вносят поправки профессора Николаи в результаты вычислений.

Положение первое влечет за собою следующую разницу в произведении $\alpha \beta$ для бассейнов различной длины и уклона:

Длина бассейна.	Уклон.	Нормы Кестлина (прим. в России). $\alpha \beta$	Нормы Николаи. $\alpha \beta$	Длина бассейна.	Уклон.	Нормы Кестлина. $\alpha \beta$	Нормы Николаи. $\alpha \beta$
$\frac{1}{2}$ вер.	0,05	0,5	1,5	10,5 в	0,05	0,188	0,281
	0,008		1,02		0,008		0,194
	0,004		0,375		0,004		0,070
1 вер.	0,05	0,5	1,375	14 "	0,05	0,125	0,188
	0,008		0,935		0,008		0,127
	0,004		0,344		0,004		0,047
$3\frac{1}{2}$ вер.	0,05	0,375	0,75	17,5 "	0,05	0,062	0,104
	0,008		0,51		0,008		0,063
	0,004		0,188		0,004		0,023
7 вер.	0,05	0,25	0,375				
	0,008		0,255				
	0,004		0,094				

Из приведенного сравнения видно, что по нормам Николаи при уклоне 0.008 получаются расходы одинаковые с Кёстлиновскими, для бассейнов 7 и более верст длины, а при длине $3\frac{1}{2}$ верст—в $1\frac{1}{2}$ больше; всякое увеличение уклона, хотя бы на 1—2 тысячных, сейчас же влечет, по Николаи, дальнейшее увеличение расхода.

Между тем, уклон 0,008, далеко не является крутым для сухих водотоков и данные Кёстлина предусматривают, несомненно, значительно большие уклоны. Для неособенно длинных бассейнов средней России (от 1,5 до 5 верст длиной), кроме болотистых местностей, наиболее типичным является уклон от 0,008 до 0,016, а для более длинных—от 0,007 до 0,011. Как раз расход в этих бассейнах, вычисленный по нормам Кёстлина, оказался соответствующим действительности и, если отступающим от нее, то в большую сторону, так что задания проф. Николаи дают совершенно излишний запас.

Любопытно, что коэффициент α для бассейнов длиной $3\frac{1}{2}$ вер. взят Николаи равным 0,5, вместо 0,375 у Кёстлина. Сделано это, вероятно, потому, что по Кёстлину для бассейнов короче 3,5 верст $\alpha = 0,5$; но, очевидно, правильное было бы взять это последнее значение для длин $2\frac{1}{2}$ —3 версты, сохранив для $3\frac{1}{2}$ в. прежнее значение α или лишь немного повысив его. Недостаточность норм Кёстлина была замечена на практике не для бассейнов длины $3\frac{1}{2}$ в., а для гораздо более коротких ($\frac{1}{2}$ — $1\frac{1}{2}$ в.).

Еще более характерным признаком преувеличенности норм Николаи является то, что у коротких бассейнов, при более крутых уклонах, произведение $\alpha \beta$ *превышает единицу*, т.-е. оказывается, что к сооружению в единицу времени притекает больше воды, чем ее может выпасть по всему бассейну в течение того же промежутка времени. Допуская даже, что при очень малых бассейнах, интенсивность ливня может быть больше, чем принято для расчета, всё же, приходится учитывать, во первых, испарение влаги, а во вторых, ее просачивание, так что допущение произведения $\alpha \beta$ большим единицы—неправильно для таких, сравнительно пологих, уклонов, как 0,01—0,02.

Второе положение профессора Николаи гласит, что уклон, от коего зависит коэффициент β , берется по всей длине бассейна по формуле $i = \frac{\sum bil}{\sum be}$.

Совершенно непонятно, зачем нужно усложнять работу подобным способом определения уклона, так как большей точности мы этим не вносим; правильное было бы ввести какую-нибудь поправку, позволяющую учесть влияние болотистых ровных низин, расположенных непосредственно у самого сооружения, так как по ним вода разливается широким, тонким слоем и застаивается, весьма медленно стекая под сооружение. Вообще, на приток воды имеет существенное

влияние наличие достаточно длинного особо-полого участка, лежащего в непосредственной близости к сооружению; в этом районе суммируется вода, стекающая со *всего* оврага, и от уклона подхода будет в значительной мере зависеть количество испарения и просачивания в землю.

Некоторым коррективом в указанном направлении могло-бы послужить третье положение Николай, но крайняя неопределенность его редакции и учет влияния пологих низин лишь при больших площадях лишает его этого значения, тем более, что, по Николай, процент уменьшения совершенно не зависит от того, близко или далеко от сооружения лежит участок с малым уклоном.

Вообще говоря, влияние продольного уклона можно учитывать лишь очень приблизительно, особенно имея в виду поневоле упускаемое значение уклона поперечного, и, потому, базировать расчет на строго-пропорциональном соотношении расхода с уклоном не имеет смысла.

Четвертое положение Николай—об отдельном учете боковых бассейнов—неминуемо влечет за собой излишнее детализирование расчета, точности-же не только не вносит, но влечет за собой определенное преувеличение расхода; определить отдельно расход боковых бассейнов можно было-бы только в том случае, если-бы нормы Кестлина относились к абсолютно-неразветвленным оврагам, чего на самом деле нет. Нетрудно проверить сказанное на любом примере, действительном или воображаемом. Несомненно, наличие боковых тальвегов имеет влияние на расход, но оно очень различно в зависимости от того, разветвлены-ли верховье водотока или его низовья, длинен или короток бассейн. Учесть точно влияние боковых тальвегов совершенно невозможно и попытки в этом направлении могут лишь осложнить расчет, а иногда, как это и вышло с поправкой Николай, дать заведомо ошибочные результаты.

Положения второе, третье и четвертое чрезвычайно осложняют предварительную работу и собиранию данных для расчета; действительно, при пользовании прежними нормами Кестлина, обязательно было исчислить площадь бассейна и карте или, в случае недостаточной подробности последней, сделать съемку обходом, измерить длину главного тальвега по подробной карте или, чаще, непосредственно и произвести нивелировку по оси оврага на протяжении во свыи версты. При пользовании нормами Николай приходится делать продольную нивелировку по тальвегу до самого водораздела и, притом,, нивелировку довольно подробную, для возможности разбивки на отдельные участки; делать отдельные промеры и нивелировку на боковых тальвегах и, наконец, особо измерять площади с поперечным сечением менее 0,003.

Последнее положение Николай—об увеличении или уменьшении коэффициента 1,875 во столько раз, во сколь-

ко толщина выпадающего дождевого слоя больше или меньше 1 мм.— вполне правильно, хотя не учитывает ограниченности полосы выпадения особо сильных ливней и меньшей продолжительности их, а потому, неминуемо, дает иногда преувеличенные результаты.

На основании всего сказанного, можно видеть, что нормы профессора Николаи, стремившиеся улучшить нормы Кёстлина, ввели только излишнюю детализовку расчета и подготовительных работ и, в то же время, дали чрезмерно преувеличенные результаты для определения отверстий целой серии искусственных сооружений, встречающихся как раз чаще всего в русских условиях.

Как-бы то ни было, нормы Николаи были введены в общее употребление на существующих и строящихся железных дорогах, причем, однако, нормы Кёстлина отменены не были и выбор между теми и другими предоставлен на ответственность каждой дороги. Тогда же намечен покойным Б. А. Риппас вид той формулы, которая должна была в будущем заменить нормы Кёстлина-Николаи, и в основу которой было положено расстояние центра тяжести бассейна до сооружения. Не касаясь теоретической правильности формулы подобного вида, нельзя не указать, что практически она оказалась-бы абсолютно неприемлемой, как требующая непомерно дорогой и длительной съемки плана всего бассейна в горизонталях.

На основании изложенного и имея в виду, что России предстоит интенсивнейшее строительство железных дорог и шоссе, невозможно допустить, чтобы вся масса искусственных сооружений на этих дорогах была сделана с избыточным расчетом отверстий по нормам Николаи-Кёстлина, сильно удорожающим строительную стоимость, да еще потребовала обширного и дорого оплачиваемого излишнего труда при расчете: точно также, невозможно допустить общее применение норм Кёстлина, во многих случаях оказавшихся избыточными.

Исходя из аналогичных соображений, проф. Дубелир, в своем вышеуказанном труде, предлагает исходить из общей формулы (2), введя в нее переменные коэффициенты k , a , b (общая формула, приводимая проф. Дубелиром, сводит их к двум) и толщину слоя воды 1 см. Упомянутые переменные коэффициенты ставятся автором в зависимость от многих условий, как-то: формы бассейна, водонепроницаемости грунта, изрезанности бассейна боковыми тальвегами и растительности; кроме того, количество притекающей воды ставится в обратную зависимость от длины бассейна. Несомненно, что учет всех перечисленных факторов был-бы весьма желательным, еслибы его можно было конкретизировать; в противном случае, предоставляется слишком большой простор лично-

му усмотрению составителя расчета и нет никакого сомнения в том, что один и тот же бассейн даст два различных расхода, если расчет отверстия будет делаться двумя различными лицами. Кстати сказать, учитывать влияние растительности довольно рискованно, потому что леса могут быть вырублены, а пашни или луг — застроены; даже американцы, которых в излишней осторожности упрекнуть нельзя, не рекомендуют учитывать влияния лесов. Средние коэффициенты, приводимые проф. Дубелиром для различных случаев, нельзя считать проверенными на опыте, а принятие линейной обратной зависимости расхода от длины бассейна — явно ошибочно.

Для действительного упрощения расчета отверстий, проще всего было бы применение для России формулы Голбота или иной, ей аналогичной, но впредь до выработки коэффициентов C для отдельных районов России этого сделать нельзя; кстати сказать, выработку эту можно было бы произвести в сравнительно короткий срок, имея массу данных для эксплуатируемых дорог. Впредь же до выработки означенных коэффициентов лучше и проще всего не отыскивать какой-либо формулы с цифровыми данными, непроверенными практикой, а исходить из прежних норм Кёстлина, так как многолетний опыт позволяет надлежащую оценку их практической применимости и ввести необходимые коррективы, отсутствие которых и было главной причиной неудовлетворительности Кёстлиновских норм во многих случаях.

Напомним еще раз, что формула Кёстлина есть лишь частный случай формулы (2) $Q = k \cdot h \cdot a \cdot \beta \cdot F$, а потому, указывая на поправки, необходимые для рационального применения Кёстлиновских норм, будем исходить из общего вида формулы (2).

а) В отношении Кёстлиновских коэффициентов a , имея в виду отмеченную практикой преувеличенность норм для длинных бассейнов, можно ввести следующие поправки на основании кривой чертежа 7: для бассейнов длиной 7 верст понизить коэффициент a с 0,25 до 0,24, для бассейнов длиной 10,5 в. с 0,19 до 0,16, для бассейнов длиной 14 верст с 0,125 до 0,11; для бассейнов длиной 17,5 в. можно оставить Кёстлиновский коэффициент 0,06, не увеличивая его до 0,07, так как в столь длинных бассейнах весьма мало вероятны выпадения ливня по всей площади.

Для длины в $3\frac{1}{2}$ версты коэффициента a берется как и по основным нормам Кёстлина, равным 0,375; коэффициент 0,5 отнесется к длине бассейна в 2 версты.

Имея в виду, что на очень малых площадях интенсивность ливня может быть значительно больше, чем принято

для данного района, берем для бассейнов короче $\frac{1}{2}$ версты коэффициент $a=0,6$, а для бассейнов длиной 1 верста $= 0,56^*)$.

б) При определении уклона необходимо, прежде всего, дать себе ясный отчет в том, какую длину должен захватывать этот уклон, весь-ли тальвег или часть его, ближайшую к сооружению или, наконец, весь участок от сооружения до водораздела. Несомненно, наибольшее значение имеет участок, расположенный вблизи сооружения, но при длинных бассейнах и уклон верховьев играет роль, так как от его крутизны зависит, успеет-ли вода из него дойти до сооружения ранее прекращения ливня. Это последнее обстоятельство заставляет остановиться на необходимости нивелирования всего тальвега, но лишь в тех пределах, где он ясно выражен. Что-же касается до участка, лежащего от верха ясно выраженного тальвега до водораздела, то он играет по отношению к тальвегу такую-же роль, как боковые скаты, а потому в расчет его включать незначит.

Бывают, однако, случаи, когда дорога пересекает бассейн уже выше ясно-выраженного тальвега или когда последнего вообще не существует (напр., болота). Здесь приходится, разумеется, делать нивелировку, уже не считаясь с ясно-выраженным тальвегом, хотя-бы и не доходя до самого водораздела. Особенно сказанное относится к болотам, которые, при достаточной длине и ширине, образуют обширный резервуар, уменьшающий скорость протекания до крайних пределов; если даже берега большого болота очень круты, то оно, всё-же, парализует скорость воды и на расход у сооружения будет влиять только его уклон, а не уклон скатов.

Всё вышеизложенное может быть резюмировано так: нивелировка уклона должна производиться на длину $\frac{2}{3}$ всей длины бассейна от сооружения до водораздела; если, при этом, ясно выраженный тальвег захватывает более $\frac{2}{3}$ этой длины, то нивелировка должна производиться до его верховьев. Если-же при нивелировке болотистых местностей окажется, что уклон не превышает 0,001 на протяжении двух верст, то дальнейшей нивелировки делать не следует, хотя-бы длина бассейна была свыше 3 верст, и полученный уклон принимать за уклон всего бассейна; в означенную длину (две версты) не входит тот участок, который,

*) Величина a для малых бассейнов (менее $3\frac{1}{2}$ верст) умышленно взята с некоторым запасом, в виду возможности проявления именно там различных неожиданностей (большая интенсивность ливня, крайне быстрое таяние снега и т. д.).

Для сравнения принятых коэффициентов a с определенными расчетом по закону прямой и кривой того-же порядка, как изображенная на черт. 7, приводится черт. 8, составляющий продолжение предыдущего чертежа в увеличенном масштабе.

в случае выноса сооружения на край болота, нивелируется вдоль линии от оси сооружения до середины болота или до водотока, прорезающего последнее. В общую же длину бассейна этот участок включается.

Влияние уклона на расход у сооружения может быть учтено, исходя из того факта, что при средне-русских условиях прежние нормы Кёстлина оказались вполне удовлетворительными для бассейнов длиной от 1,5 до 4-х верст при уклоне 0,009 — 0,016, а для более длинных — при уклоне 0,007—0,012; точно также удовлетворительными оказывались нормы для бассейнов при уклонах менее 0,005.

С другой стороны, мы должны принять, что для бассейнов с уклоном до 0,2 произведение коэффициентов $\alpha\beta$ не должно превышать единицы. На основании изложенных соображений и имея коэффициент α , можно вычислить и коэффициент β , зависящий от уклона, а именно:

	До 7 вер.	7 верст и выше.
для уклона 0,001	0,2	0,2
„ „ 0,005	0,5	0,5
„ „ 0,007—0,008	0,9	1
„ „ 0,009—0,012	1	1
„ „ 0,013—0,016	1	1,35
„ „ 0,02 —0,03	1,2	1,3
„ „ 0,04 —0,10	1,60	1,8
„ „ 0,20 —0,30	1,80	2,1
„ „ 0,40 и выше	2,00	2,35

Повышение коэффициента β для длинных бассейнов (7 вер. и длиннее) с крутыми уклонами необходимо в виду того, что именно в этом случае вода с верховьев успевает достигнуть к сооружению, пока ливень еще не кончился. Так как, однако, длинные бассейны с крутым уклоном встречаются лишь редко, для уклонов свыше 0,1—можно сказать, всегда, то практическое значение имеют лишь некоторые повышенных коэффициентов β .

Таким образом, произведение $a\beta$ соответствующее величине a в формуле Кестлина, выразился следующими цифрами, промежуточные между которыми определяются интерполяцией:

У К Л О Н Ы.	Длина бассейна в вер. и коэффициент b .									
	Дли- на.	0,5 вер.	1 в.	2 в.	3 в.	3,5 вер.	7 в.	10,5 вер.	14 в.	17,5 вер.
	a .	0,6	0,56	0,5	0,425	0,375	0,24	0,16	0,11	0,06
0,001	Произведения $a\beta$	0,12	0,11	0,10	0,08	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01
0,005		0,30	0,28	0,25	0,21	0,19	0,12	0,08	0,06	0,03
0,007 — 0,008		0,54	0,50	0,45	0,38	0,34	0,23	0,16	0,11	0,06
0,009 — 0,012		0,60	0,56	0,50	0,42	0,38	0,24	0,16	0,11	0,06
0,013 — 0,016		0,60	0,56	0,50	0,42	0,38	0,26	0,18	0,12	0,07
0,02 — 0,03		0,72	0,67	0,60	0,50	0,45	0,32	0,22	0,15	0,08
0,04 — 0,10		0,96	0,90	0,80	0,67	0,60	0,43	0,29	0,20	0,10
0,2 — 0,3		1,05	1,01	0,90	0,76	0,68	0,50	0,34	0,23	0,13
0,4 и выше		1,20	1,12	1,00	0,87	0,75	0,56	0,38	0,26	0,14

Для возможности быстрого пользования приведенной таблицей, дадим сразу произведения $1,875 a\beta$, с некоторым округлением в цифрах, облегчающим интерполяцию *).

Интерполирование достаточно производить: для уклонов до 0,05 через 0,001, а свыше 0,1—через 0,01, для длин до $3\frac{1}{2}$ верст—через 0,2 или 0,25 вер., а свыше—через 0,5 версты, округляя действительные цифры до ближайшей большей или меньшей; разумеется, достаточно ограничиваться двумя десятичными знаками в результате.

*) Правильнее было-бы взять произведение $1,953a\beta$, как относящееся к ливню интенсивностью 1 мм. в минуту, но в виду допускаемых неточностей и ничтожной разницы между цифрами 0,96 мм. и 1 мм. в минуту, не имеет никакого значения, будем-ли пользоваться множителем 1,875 или 1,953; во всяком случае, в дальнейшем мы полагаем, что приводимая таблица относится к ливню интенсивностью 1 мм. в минуту.

УКЛОНЫ.	Длина бассейна в верстах:								
	0,5	1 в.	2 в.	3	3,5	7	10,5	14	17,5
	Произведения 1,875 $\alpha \beta$.								
0,001	0,24	0,22	0,20	0,15	0,14	0,10	0,06	0,04	0,02
0,005	0,56	0,53	0,48	0,38	0,36	0,22	0,15	0,11	0,05
0,007—0,008	1,00	0,96	0,86	0,71	0,64	0,43	0,30	0,20	0,11
0,009—0,012	1,12	1,07	0,94	0,79	0,72	0,44	0,30	0,20	0,11
0,013—0,016	1,12	1,07	0,94	0,79	0,72	0,48	0,34	0,23	0,13
0,02 — 0,03	1,38	1,24	1,14	0,94	0,87	0,59	0,41	0,27	0,15
0,04 — 0,10	1,80	1,70	1,50	1,25	1,13	0,82	0,54	0,33	0,19
0,20 — 0,30	2,05	1,90	1,70	1,40	1,31	0,92	0,64	0,43	0,24
0,40 — и выше.	2,25	2,10	1,90	1,68	1,44	1,05	0,70	0,49	0,28

Учесть сколько-нибудь точно влияние участков с особливо-пологим продольным и поперечным скатом, не представляется возможным и поправки Николай, об уменьшении расхода в случае пологих поперечных скатов, вводить не следует. Главное значение здесь имеют пологие участки, непосредственно прилегающие к линии; их влияние учитывается как теми условиями определения уклона, которые приведены выше, в пункте б, так и поправкой, указанной ниже, в пункте г.

в) Наличие нескольких тальвегов, несомненно, влияет на расход воды, но учесть размеры этого влияния мы решительно не в состоянии, ввиду крайнего разнообразия привходящих факторов. Единственный случай, когда влияние тальвегов могло-бы быть учтено с некоторой точностью, имел-бы место в случае нескольких тальвегов, сходящихся радиально к самому искусственному сооружению; тогда, разделив бассейн на соответственные секторы, мы получили-бы общий расход, как сумму расходов отдельных секторов. К этому идеальному случаю приближаются такие, как разветвление главного тальвега и впадение значительного бокового тальвега в непосредственной близости от линии. Во всех остальных случаях влияние тальвегов не поддается учету: оно заключается, преимущественно, в том, что изре-

занный боковыми тальвегами бассейн позволяет воде гораздо скорее стекать к главному тальвегу, а затем — к сооружению. Если изрезанной будет низовая часть бассейна, то, при значительной длине, вода с верховьев может подойти к сооружению лишь тогда, когда низовая вода уже стечет, так что условия будут благоприятны для сооружения. Если дело обстоит наоборот, то верховая вода сможет подойти к сооружению, пока ливень еще не кончился. Все это так неопределенно, что принимать во внимание работу отдельных тальвегов не приходится, за исключением лишь вышеупомянутого случая, когда сооружение можно считать пропускающим воду из двух сходящихся бассейнов.

В результате, мы приходим к следующему практическому выводу: при определении расхода разделение на отдельные бассейны должно делаться только в том случае, если, в расстоянии не свыше 100 саженей от линии, главный тальвег разветвляется на две (или более) приблизительно равноценных ветви или если в указанных пределах в главный тальвег впадают очень значительные боковые, причем длина и уклон сказанных тальвегов существенно отличаются друг от друга.

г) Как раз тот случай, когда несколько тальвегов сходятся к одному искусственному сооружению мы имеем тогда, когда к сооружению подходят нагорные или отводные каналы, несущие большое количество воды. Ни одним из существующих способов расчета влияния боковых каналов не учитывается, а между тем оно имеет существенную важность, так как, устраивая каналы вдоль линии, мы создаем новые тальвеги, которые подходят непосредственно к сооружению и работа которых, в громадном большинстве случаев, совершенно иная, чем работа тальвега естественного. Разумеется, если количество воды в каналах очень невелико по сравнению с притекающим по естественному тальвегу, то влияние их на работу сооружения ничтожно и им можно пренебречь. Но, если приток воды по каналам значителен, то он может оказать существенное влияние на условия работы сооружения, а потому должна быть внесена соответственная поправка в результаты определения расхода, приближая их к действительности. Эта поправка определяется различно для нагорных (или путевых) и отводных каналов.

Нагорные (или путевые) каналы могут оказывать влияние на расход воды у сооружения только при очень большой (относительно) их длине; сказанное имеет место: 1) на длинных пологих водоразделах; 2) при пересечении длинных низин, включая сюда и болота; 3) при прохождении линии по косогору или у подошвы его; здесь разница в уклоне тальвега и каналы особенно резка. Во всяком случае, влияние нагорной (или путевой) каналы должно учитываться только в том случае, если длина ее не менее половины длины естественного тальвега.

Если к сооружению подводится вода из совершенно другого бассейна, или нескольких бассейнов, помощью *отводной* канавы, то за бассейн ее принимается площадь *отводимых* бассейнов *плюс* часть площади главного бассейна, имеющая сток к канаве. Длина канавы определяется, как расстояние между искусственным сооружением и наиболее удаленной от него долиной отводимого бассейна *плюс* длина последнего, а за уклон берется разница отметок между самыми низкими точками тальвегов у сооружения и у линии на самом крупном из отводимых бассейнов, деленная на расстояние между этими точками.

Вводить в расчет влияние отводных канав следует лишь в том случае, если площадь отводимого бассейна не менее $\frac{1}{5}$ всей площади бассейна сооружения или если длина отводной канавы не менее половины длины бассейна; в противном случае, достаточно суммировать отводимые бассейны с бассейном главного тальвега.

д) Величина h в частном виде формулы Кёстлина равна 9,6 мм. в минуту или, округленно, 1 см.; поэтому, в тех районах, где толщина выпадающего слоя воды больше или меньше 1 см., обязательно необходимо соответственно увеличивать или уменьшать величину h . Однако, вводя эту поправку, нельзя базироваться на каком-либо исключительном ливне, выпадающем раз в 30—50 лет, так как тогда придется, вероятно, все нормы считать недостаточными; нужно исходить из количества осадков, повторяющегося сравнительно часто (не реже 1 раза в 15—20 лет), основываясь на метеорологических наблюдениях, произведенных в данном районе. Помимо того, следовало-бы учитывать, что чем больше ливень, тем менее подвергающаяся ему площадь и его продолжительность; к сожалению, длина и ширина ливневой полосы для различной толщины выпадающего слоя воды представляет собой величину почти неизвестную и, потому, от учета уменьшения ливневой площади приходится отказаться.

е) Коэффициент поглощаемости почвы k , принятый Кёстлином равным 1, может быть уменьшен до 0,67 при бассейнах с сильно поглощающим воду грунтом (сухим песчаным или сильно трещиноватым скалистым) и, обратно, увеличен до 1,33 при бассейнах с грунтом скалистым не трещиноватым. Разумеется, речь идет лишь о грунтах обнаженных или очень слабо покрытых растительностью; если последняя сколько-нибудь густа, то соответственно и коэффициент должен браться ближе к единице. В том случае, если не весь бассейн, а лишь его часть, имеет грунт, сильно поглощающий воду или, обратно, водонепроницаемый, то уменьшение или увеличение коэффициента k следует делать *только в том случае, если упомянутая часть расположена близ самого сооружения, потому что* только тогда через него пройдет вода, направляющаяся к последнему. Так как поглощение будет тем больше или меньше, чем длин-

нее участок с песчаным или каменистым грунтом, то приведенный ко всей площади бассейна коэффициент k , который назовем через k' , мы можем принять для песчаных сухих грунтов $k' = 1 - \frac{0,33}{m}$, где m — отношение длины всего бассейна к длине участка с песчаным грунтом; для скалистого нетрещиноватого грунта $k' = 1 + \frac{0,33}{m}$ *).

*) Правильность всех перечисленных поправок может быть проверена для различных районов опытным путем; в качестве примера приведем сравнительные данные для формулы Кестлина в ее первоначальном виде, для норм Кестлина-Николаи и для предлагаемых поправок, относящиеся к ливню 24-го мая 1901 года на Владикавказской жел. дор. и приведенные в докладе проф. Николаи (стр. 24—25 печатного издания). Интенсивность этого ливня, судя по наблюдениям, достигла 5 мм. в минуту, почему толщина выпадающего слоя и принята равной 5-ти во всех предположениях.

Название искусственного сооружения.	Отверстие.	Площадь бассейна кв. в.	Длина бассейна вер.	Уклон.	Расход.			
					Наблюдаемый.	По Кестлину.	По Николаи.	По Кестлину с предлагаемыми поправками.
Кам. тр. № 230—28	1,5	0,96	1,9	0,05	7,45	1,50	10,00	7,39
" " " 225—33	0,5	0,21	0,7	0,07	1,87	1,60	2,60	1,97
" " " 242—12	2,85	6,45	5,2	0,04	35,86	20,00	33,05	31,61
" " " 254—22	0,75	0,49	1,2	0,04	3,85	2,05	5,55	4,07
" " " 264—14	2,50	7,14	5,4	0,02	28,13	22,00	31,85	25,36
" " " 280—32	2,00	4,58	4,5	0,03	17,78	18,65	25,35	17,86

Таким образом, расходимость с фактически наблюдаемым расходом при пользовании новыми поправками норм Кестлина будет: $-1^0\%, +6^0\%, -12^0\%, +6^0\%, -10^0\%, +0,5^0\%$, т. е. в среднем $-1,8^0\%$, тогда как по нормам Николаи она равна: $+34^0\%, +39^0\%, -7,8^0\%, +13^0\%, +42^0\%$, в среднем $+27^0\%$.

Разумеется, из одной серии наблюдений еще невозможно делать какие-либо решительные выводы о пригодности новых поправок к нормам Кестлина. К сожалению, других данных для сравнения действительно—наблюдаемого расхода с теоретическим в распоряжении автора не имелось; таблицы, помещенные в докладе Николаи на стр. 81—82 для II Екатерининской ж. д., хотя и приводят такие данные, но не указывают, какова была интенсивность ливня при действительно—наблюдаемых расходах, а потому делать какие-либо выводы на основании их невозможно.

2. Определение горизонта протекающей воды.

Когда расход воды определен, то в некоторых случаях возможно прямо перейти к определению отверстия сооружения (круглые трубы и почти все сооружения, рассчитываемые по формуле Бресса; см. ниже, отдел 3, подотделы А и В). В других случаях (часто—мосты под 1 путь, иногда—каменные трубы) необходимо предварительно получать данные для определения скорости потока и подпорного горизонта у сооружения. Так как скорость определяется по формуле $V = \frac{Q}{\omega}$ и так как расход Q найден, то нужно опре-

делить величину ω . С другой стороны, $V = C \sqrt{Ri}$, где R —подводный радиус, i —продольный уклон (который берется лишь в районе 100—300 саж. непосредственно близь сооружения) и C —переменный коэффициент, зависящий, при данной шероховатости грунта, от R^* .

В свою очередь $R = \frac{\omega}{p}$, где ω —площадь живого сечения и p —подводный периметр. Таким образом, мы имеем в конце концов:

$$(4) \frac{Q}{\sqrt{i}} = \omega C \sqrt{R},$$

где неизвестны ω и R , в свою очередь зависящий от ω ; чтобы решить это неопределенное уравнение, применяется способ последовательного подбора горизонтов воды, для коих определяются ω , p , R и C (последний, зависящий от R ,—по таблицам, прилагаемым при каждом бланке расчета); взяв какой-либо горизонт, измеряют для него упомянутые величины и подставляют в уравнение (4); если произведение $\omega C \sqrt{R}$ мало отличается от уже известной величины $\frac{Q}{\sqrt{i}}$,

то подобранный горизонт правилен и мы можем определить величину V ; в противном же случае приходится повышать или понижать его. При известном навыке, подбор горизонта идет довольно быстро; для упрощения и ускорения его мо-

* По Дарси-Баазену, для земляного ложа

$$C = \frac{1}{\sqrt{0,0005974 + \frac{0,00035}{R}}} \quad \text{и} \quad C \sqrt{R} = \frac{41R}{\sqrt{R+0,58}}$$

гут быть применены таблицы, составленные инженером Карачевским-Волком для треугольного и трапециевидного живого сечения *). Таблицы эти имеют следующий вид:

а) Если мы имеем треугольное живое сечение (черт. 9), причем наклон его берегов определяется как $j_1 = \frac{l_1}{a_1}$ и $j_2 = \frac{l_2}{a_2}$ то, называя через J сумму j_1 и j_2 , имеем:

a /	0	0,25	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
$\frac{Q}{J\sqrt{i}}$	0	0,002	0,013	0,042	0,097	0,19	0,32	0,51	0,74	1,04	1,40	1,84	2,35

Зная Q и i и определяя из поперечного профиля оврага величину $J = j_1 + j_2$, находим $\frac{Q}{J\sqrt{i}}$ и тогда отыскиваем в таблице соответственное значение a , т.е. наибольшую глубину живого сечения в овраге. Зная a , легко уже определить ω , p и R , причем $\omega = \frac{a^2 J}{2}$ и $p = a (\sqrt{j_1^2 + 1} + \sqrt{j_2^2 + 1})$; при величине J , не меньшей 3, можно без сколько-нибудь значительной погрешности принять $p = a J = \frac{a}{2}$.

Для малых значений J , т.е. для очень крутых склонов оврага, полученные по таблице величины a следует увеличить путем прибавки:

J	Прибавка.	Минимальная глубина ₂ при коей учитывается поправка.
1,5	0,05 a	0,12
3	0,03 a	0,20
4	0,01 a	0,30
5	0,01 a	0,55

Так как a выражается лишь двумя десятичными знаками (кроме, разве, водотоков с крайне пологими скатами, где a можно брать с точностью до 0,005)), то и поправку приходится вводить лишь в том случае, если глубина воды превышает указанную минимальную.

*) А. Карачевский-Волк: „Определение отверстий искусственных сооружений“, Москва, 1899 г.

б) Для трапецевидного живого сечения прибавляется еще значение l , т.-е. ширины лога по дну, и таблица принимает следующий вид:

$\frac{l}{J}$	a	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,61
		$\frac{Q}{J\sqrt{i}}$												
0	0	0,002	0,013	0,042	0,097	0,19	0,32	0,51	0,74	0,04	0,40	0,84	2,37	
0,25	0	0,025	0,13	0,29	0,52	0,80	1,20	1,65	2,20	2,82	3,60	4,40	5,25	
0,50	0	0,065	0,25	0,55	0,96	1,48	2,15	2,89	3,78	4,80	5,91	7,11	8,47	
0,75	0	0,096	0,38	0,81	1,40	2,14	3,11	4,15	5,36	6,78	8,25	2,88	11,72	
1,00	0	0,13	0,50	1,08	1,87	2,88	4,04	5,41	7,06	8,75	10,63	12,67	15,21	
1,25	0	0,16	0,62	1,35	3,32	5,03	5,03	6,70	8,64	10,64	13,05	15,50	18,32	
1,50	0	0,19	0,74	1,61	2,80	6,00	6,00	8,03	10,34	12,63	15,49	18,42	21,60	

Величина $\omega = a \left(L + \frac{aJ}{2} \right)$; для значительной величины J (2 и более) значения p и R могут быть взяты упрощенными, а именно: $p = L + aJ$,

$$R = \frac{\left(\frac{a}{2} + \frac{1}{J} \right) a}{a + \frac{1}{J}}$$

Означенные значения R сведены Карачевским-Волком в следующую таблицу:

$\frac{l}{J}$	a	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,60
		R												
0	0	0,025	0,050	0,075	0,10	0,125	0,15	0,175	0,20	0,225	0,25	0,275	0,30	
0,25	0	0,045	0,045	0,086	0,122	0,156	0,188	0,218	0,248	0,277	0,305	0,333	0,388	
0,50	0	0,048	0,092	0,133	0,171	0,208	0,244	0,278	0,311	0,343	0,375	0,406	0,436	
0,75	0	0,048	0,095	0,137	0,178	0,218	0,257	0,295	0,330	0,367	0,400	0,434	0,467	
1,00	0	0,049	0,096	0,140	0,183	0,225	0,265	0,305	0,343	0,383	0,417	0,452	0,488	
1,25	0	0,049	0,097	0,142	0,186	0,229	0,311	0,351	0,391	0,429	0,429	0,466	0,504	
1,50	0	0,049	0,097	0,143	0,189	0,232	0,275	0,317	0,358	0,398	0,438	0,476	0,514	

Помимо приведенных таблиц, Карачевский-Волк ставил и графики для определения a и R при трапецевидном сечении, изображенные на черт. 10 и 11.

Имея в виду, что большая часть живых сечений приближается к типу треугольного или трапецевидного и небольшие отклонения от них могут быть без ощутительной погрешности либо игнорированы вовсе, либо компенсированы спрямлением сторон треугольника или трапеции, пользоваться таблицами и графиками можно в довольно широких пределах.

Аналогичные упрощения приведены в трудах проф. Д. Белира „Определение отверстий малых мостов“ и инж. Сермягина „Графики для расчета при проектировании железных дорог“, где интересующиеся и могут их найти.

Живое сечение оврага для определения ω , r и R берется обычно прямо из продольного профиля линии, но если угол пересечения последнего с тальвегом менее 45° — 50° , то следует снимать живое сечение перпендикулярно к оси тальвега.

В тех случаях, когда русло у сооружения делается углубленным, условия прохода воды делаются более благоприятными, благодаря изменению соотношения между R и ω в сторону увеличения скорости. Поэтому, в некоторых случаях желательно учитывать влияние этого изменения, что может, при достаточных его размерах, вызвать и уменьшение отверстия. Влияние углубленного русла будет тем больше, чем ниже взята отметка дна и чем меньше скорость подхода воды, т.-е. особенно—при очень разлтых берегах. Учитывать влияние углубления русла при каждом расчете, хотя и возможно, но подобный прием не может быть рекомендован, как влекущий излишнюю работу; правда, если ширина русла (т.-е. отверстие моста) будет сразу удачно подобрана, то расчет очень упрощается. Если же не основываться на гадательной ширине, то следует произвести расчет сперва в предположении, что русло не углублено; когда отверстие определится расчетом, то может оказаться, что его уменьшать вовсе не требуется и тогда незачем делать и проверки на работу с углубленным руслом (напр., расчетное отверстие меньше наименьшего типового); затем, может оказаться, что возможное углубление очень мало по сравнению с естественной глубиной и влияние его будет ничтожно. Но если берега низины очень отлоги, уклон мал, то можно с уверенностью ожидать уменьшения отверстия; раз это уменьшение желательно, то в живое сечение вводится поправка в виде углубления русла и производится перерасчет ω , a и V при наличии углубления.

Некоторым пособием при расчете с углубленным руслом могут служить таблицы, приведенные в статье инж. Циглер ф.-Шафгаузена (Журн. М.П.С. за 1902 г. № 1 и отдельное издание 1909 г.) „Упрощение расчета отверстий мостов“.

Таблицы эти дают: № 1—глубину прямоугольного русла, его ширину и соответствующий уклон при $Q=1$ кв. сж., а №2—величины R для различных размеров прямоугольного русла. Таблицы приложены в конце настоящей книги (прилож. № 3).

3. Определение отверстия.

Имея величины Q , V и a (глубина воды), мы можем приступить к определению отверстия сооружения; определение это производится в зависимости от работы сооружения, т. е. от того, можем-ли рассматривать последнее, как водоспуск, водослив или открытый канал. Как водоспуск, сооружение работает, если вода в нем течет полным сечением при более или менее значительном напоре; сюда относятся круглые трубы из различного материала. Как водослив, работает сооружение, имеющее в направлении течения очень малую длину и смачиваемое лишь по трем сторонам отверстия; сюда относятся только мосты под один путь, да и то не безусловно. Как открытый канал, работает сооружение, имеющее значительную длину в направлении течения и смачиваемое с трех сторон подводного периметра; сюда относятся трубы (кроме круглых), работающие неполным сечением, а также мосты под несколько путей или с откосными крыльями; в последнее время принцип работы открытого канала стали применять к мостам под один путь с обратными стенками.

А. Круглые трубы, работающие как водоспуск.

Сюда относятся трубы чугунные, оцинкованные волнистого железа, бетонные, железобетонные и гончарные; в прежнее время делались и кирпичные круглые трубы, но теперь они совершенно оставлены.

Чугунные трубы для железных дорог допускаются отверстием в 0,5 и 0,75 саж., но практически применяются лишь трубы отв. 0,50 саж., так как при большем диаметре они чрезмерно тяжелы. Укладка труб меньшего диаметра, чем 0,50 саж., не допускается для укладки под железнодорожными путями. Это объясняется опасением засорения трубы поводом к чему послужила знаменитая Кукуевская катастрофа, но распространять огульно запрещение применять диаметр менее 0,50 саж. для труб под железнодорожными настилами совершенно ошибочно. Авторы этого запрещения, можно сказать, „обжегшись на молоке, дуют на воду“. Если труба находится в таком месте, где возможно засорение ее наносами или уносимыми течением крупными предметами, то она находится почти в столь-же опасном положении, имея диаметр 0,50, как и при диаметре 0,33. Если-же этой опасности нет, то последний диаметр вполне достаточен и лучшая доказательством этому служит благополучное существование множества чугунных труб отв. 0,33 саж., находя-

щихся на старых русских дорогах, не говоря уже о заграничье, где они допускаются и по сие время. Вообразить, что в случае засорения, прочистка трубы отв. 0,50 саж. легче, чем трубы 0,33, можно только, сидя в кабинете, так как, если эту прочистку нельзя сделать снаружи шестами, то лезть в трубу во время ливня одинаково опасно при любом диаметре.

На этом основании, круглые трубы вообще должны быть избегаемы там, где существует опасность засорения; там же, где этой опасности нет, трубы отверстием не менее 0,33 саж. должны быть допущены с таким же успехом, как и трубы отв. 0,50 саж.

Единственным ограничением здесь может явиться длина трубы, так как, конечно, прочистка ее после ливней затрудняется для длинных труб при малом диаметре. Поэтому, длину труб 0,33 сж. следовало бы ограничить десятью-двенадцатью саженими, что соответствует, при нормальной ширине полотна, высоте насыпи до 2,5—3 саж.

Наконец, при очень малой высоте насыпей (не выше 1 сж.) допустимы трубы и еще меньшего диаметра (0,15—0,30 сж.); за границей они встречаются часто и при отсутствии наносов опасности представить не могут; главный их недостаток заключается в трудности внутреннего осмотра (на случай трещин, расхождения колец и т. д.); поэтому, правильнее ограничивать их применение менее ответственными путями сообщения (станционными путями, ветвями, проезжими дорогами, переездами и т. д.).

Трубы из оцинкованного волнистого железа у нас допускаются для укладки под железнодорожным путем при небольшой высоте насыпи и диаметре 0,20—0,30 саж., причем должны работать неполным сечением, т. е. они предназначены для пропуска очень небольшого количества воды; собственно говоря, трубы эти допускаются лишь для ветвей с малым движением, но на практике они были разрешены к применению на дорогах магистрального типа — Среднеазиатской, Витебск-Жлобинской и т. д. Трубы эти, как легко ржавеющие, не могут быть рекомендованы и правильнее заменять их железобетонными.

Бетонные трубы, ввиду их большого веса, применяются редко, но железобетонные могут считаться типом труб, наиболее подходящим для укладки под всякого рода путями. У нас они еще мало распространены, но за границей вытесняют все прочие типы труб. Специальных указаний по поводу допустимого их отверстия нашим ведомством путей сообщения не давалось и, поэтому, их можно приравнять в этом отношении к чугунным и железным трубам. Наиболее подходящие диаметры — от 0,30 до 0,75 саж.

Гончарные трубы не предусмотрены русскими техническими условиями, но на практике они иногда применяются для пропуска малых водотоков. В Америке гончарные

трубы специального типа (на 20—40% тяжелее обыкновенных) очень широко применяются для укладки под шоссе, а в южных штатах—и под железнодорожными путями; на севере, где трубы неоднократно лопались от мороза, они теперь мало применяются. Применяемый в Америке диаметр труб—от 0,14 до 0,42 саж. (12-33").

Все трубы должны иметь над собой достаточный слой земли, чтобы не портиться от сотрясений; этот слой, включая балласт, должен быть не менее 0,50 саж. для железных дорог, 0,35 саж. для шоссе, где движутся грузовые автомобили, и 0,25 саж. для прочих дорог. В случае применения гончарных труб диаметром свыше 0,30 саж. (24") все означенные цифры должны быть увеличены процентов на 25.

а) *Работа полным сечением.* Как известно, скорость в трубе определенного отверстия, а, следовательно, и расход в ней, зависит от величины напора. Может оказаться, поэтому, что в сильный ливень труба не будет успевать пропускать всего количества притекающей воды и выше насыпи образуется пруд; по мере повышения горизонта последнего, будет увеличиваться и скорость в трубе, пока, наконец, расход в трубе не сравнится с приходом воды в овраге и тогда горизонт трубы станет постоянным до окончания ливня; горизонт начнет понижаться и пруд будет сходить постепенно, уже когда ливень кончится. Таким образом, трубы должно рассчитывать так, чтобы, во первых, горизонт пруда не оказался чрезмерно высоким, во избежание прорыва насыпи или перелива через нее, и, во-вторых, чтобы при наибольшем возможном подпоре расход в трубе был не менее максимального притока воды в овраге. Так как диаметр круглых труб задается заранее, наибольшая допускаемая скорость в них также задается, то величина максимального допускаемого притока воды к сооружению является определенной заранее. Что же касается до горизонта воды в пруде, то и он оказывается величиной заранее определенной, потому что, как увидим ниже напор зависит как от скорости, так и от длины трубы. Следовательно, при определении отверстий круглых труб не требуется предварительного определения горизонта и скорости притекающей воды, что существенно облегчает расчет.

Допускаемая скорость в чугунных трубах при каменном основании равна 20' в сек., причем, если выход укреплен водобойными колодцами, то скорость может быть увеличена до 30'; при глиняном основании скорость допускается всего в 10'. Для железных гофрированных труб скорость не определена, но можно принять и ее в 20'. Для труб бетонных и железобетонных, во избежание вымывания цемента, 20-ти футовая скорость является предельной. Скорость в гончарных трубах, в зависимости от рода оснований, приравнивается к таковой в чугунных.

Таким образом, для труб различных отверстий получим следующие максимальные допустимые расходы:

Скорость Отверстие	10'	20'	30'
0,15 саж.	0,025	0,05	0,08
0,25 "	0,07	0,14	0,21
0,33 "	0,12	0,24	0,36
0,50 "	0,28	0,56	0,84
0,60 "	0,40	0,80	1,20
0,75 "	0,63	1,26	1,69

Для того, чтобы увеличить при наличии труб данного диаметра допустимый расход, укладывают двойные, тройные и даже четверные трубы.

Что касается до высоты напора над центром выходного отверстия, то она определяется по формуле:

$$(5) \quad h = \left(1 + \xi + \lambda \frac{1}{D}\right) \frac{v^2}{2g},$$

где ξ —коэффициент сопротивления воды при входе в трубу, принимаемый равным 0,5 при прямоугольном срезе трубы и 0,87—при скошенном; L —длина трубы, D —ее диаметр, и λ —коэффициент трения в трубе, исчисляемый по формуле Вейсбаха (или иной аналогичной): $\lambda = 0,0144 + \frac{0,0097}{V^5}$ (V —в метрах). Для различных скоростей имеем следующие цифровые значения λ :

для скорости в	1'	0,032
" "	5'	0,022
" "	10'	0,02
" "	20'	0,0183
" "	30'	0,0175

Для скоростей в 10—30', практически употребительных, коэффициенты λ настолько близки друг к другу, что можно без существенной погрешности принять λ постоянным и равным 0,02.

Написав формулу (5) в виде $h = a v^2$, получим величину Q в зависимости от напора $Q = \omega v = \frac{\omega \sqrt{h}}{\sqrt{a}}$, где ω —живое

сечение трубы. Задаваясь различной высотой насыпи при определенной ширине полотна и откосах, получим величину L (длина трубы), входящую в формулу (5), и тогда уже определим максимальное допустимое значение подпора для любой высоты насыпи. Последняя у нас допускается для чугунных труб с каменным основанием—до 10 саж., с глиняным—до 4, для железных—до 3; для железобетонных и бетонных, по аналогии с чугунными, можно принять 10 саж. Наименьшая высота насыпи должна быть не менее 0,50 саж. над трубой.

Величина h определена министерскими нормами для труб. отв. 0,50, при полуторном откосе насыпи, такой:

Высота на сыпи.	h	
	Для скоро- сти. 10'	Для скоро- сти. 20'
1	0,25	0,25
1,5	0,28	0,50
2	0,30	0,75
2,5	0,31	1,00
3	0,32	1,25
4	0,33	1,50
5	—	1,75
6	—	2,00
7	—	2,10
8	—	2,20
9	—	2,30
10	—	2,5

Нормы эти для невысоких и средних насыпей несомненно преуменьшены; помимо того, они составлены в предположении полуторного откоса насыпи, тогда как в настоящее время насыпи выше 3-х саж. дается более пологий откос. Если учесть последний и принять $\xi = 0,5$ и $\lambda = 0,02$, а скорости—предельными допустимыми, то получим следующую таблицу для наиболее часто применяемой скорости в 20', с округлением до 0,05.

Высота насыпи.	Длина трубы (полотно под 1 путь).	h для отверстий.			Q для отверстий.						V для отверстий.		
		0,5	0,60	0,75	0,50	0,60	0,75	2×0,50	2×0,60	2×0,75	0,50	0,60	0,75
1	5 — 3D	0,25	—	—	0,23	—	—	0,46	—	—	1,13	—	—
1,1	5,3 — 3D	0,35	0,30	—	0,27	0,37	—	0,55	0,74	—	1,40	1,52	—
1,25	5,75 — 3D	0,50	0,45	0,37	0,33	0,45	0,65	0,66	0,90	1,30	1,70	1,6	1,47
1,5	6,5 — 3D	0,75	0,70	0,62	0,39	0,56	0,82	0,78	1,12	1,64	2,01	1,97	1,85
2	8 — 3D	1,25	1,20	1,12	0,50	0,72	1,09	1,00	1,44	2,18	2,56	2,51	2,47
2,5	9,5 — 3D	1,60	1,55	1,50									
3	11 — 3D	1,70	1,60	1,55									
4	14,32 — 3,5D	1,80	1,70	1,60									
5	17,82 — 3,5D	1,90	1,80	1,70									
6	21,32 — 3,5D	2,00	1,90	1,80									
7	24,82 — 3,5D	2,15	2,00	1,85	0,56	0,80	1,26	1,12	1,60	2,52	2,86	2,86	2,86
8	28,32 — 3,5D	2,25	2,10	1,95									
9	31,82 — 3,5D	2,40	2,20	2,05									
10	35,32 — 3,5D	2,55	2,30	2,10									

Примечание. С 1 до 2 саж. высоты включительно величина h определена в зависимости от предельного расстояния до бровки насыпи (0,50).

Все эти величины еще имеют некоторый запас, так как труба имеет продольный уклон, т. е. ее выходное отверстие, от центра коего исчисляется h, ниже входного. Уклон трубе должен придаваться не менее уклона лога, а если возможно, то и более; предельная наибольшая величина уклона может быть принята в 0,02.

Самый принцип работы круглой трубы, принцип, на основании коего за насыпью образуется пруд, указывает, что, чем больше размеры этого пруда при данной высоте подпора, тем рациональнее устройство круглой трубы. Другими словами, последние особенно выгодны при укладке в водотоках с очень пологими поперечными скатами и небольшим продольным уклоном (болота, котловины, низины, разлтые суходолы на пологих склонах).

б) *Работа неполным сечением.* Если расход воды в овраге настолько мал, что подпора не образуется, то притекающая вода будет сходиться по трубе, не образуя пруда и не занимая полностью всего сечения трубы. По нашим нормам, в этом случае заполнение допускается на высоту $\frac{3}{4}$ диаметра трубы.

При определении скорости, мы должны пользоваться формулой $v = C \sqrt{Ri}$; C наиболее точно определяется по формуле Гангилье-Куттера:

$$C \text{ (для сажен)} = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}}{1,46 + \left(\frac{23 + 0,00155}{i} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Величина n может быть принята для чугунных и гончарных труб равной 0,01, а для остальных—0,017 (соответственно $\frac{1}{n}$ —100 и 59). Таким образом, для чугунных труб имеем:

$$C' = \frac{123 + \frac{0,00155}{i}}{1,46 + \left(23 + \frac{0,00155}{i} \right) \frac{0,01}{\sqrt{R}}}$$

для бетонных:

$$C'' = \frac{82 + \frac{0,00155}{i}}{1,46 + \left(23 + \frac{0,00155}{i} \right) \frac{0,017}{\sqrt{R}}}$$

Задаваясь определенным отношением живого сечения к подводному периметру для заполнения трубы в $\frac{3}{4}$ диаметра и имея определенный уклон трубы i , определим наибольший допустимый расход; сравнивая его с действительным, можем видеть, пригодна-ли для данного случая укладка круглой трубы. Для диаметров 0,33, 0,50, 0,60 и 0,75 мы можем написать предыдущие формулы в виде

$$C' = \frac{123 + k}{A + Bk} \text{ и } C'' = \frac{82 + k}{A' + B'k}$$

где $k = \frac{0,00155}{i}$; прочие величины, а также ω и \sqrt{R} , таковы:

	A	A'	B	B'	ω	\sqrt{R}
0,33	2,14	2,62	0,031	0,052	0,07	0,4
0,50	2,04	2,44	0,025	0,042	0,16	0,5
0,60	1,98	2,33	0,0225	0,038	0,23	0,55
0,75	1,92	2,24	0,02	0,035	0,35	0,61

Б. Сооружения, рассчитываемые как неполный водослив.

Сюда могут относиться лишь сооружения, имеющие очень малую ширину, т.-е. мосты всякого рода под 1 путь, так как при большей ширине движение воды в пределах сооружения будет соответствовать скорее движению в канале. Но если принять в расчет, что в однопутном мосту очень часто впоследствии пристраивается и мост под 2-й путь без нового расчета, то вполне возможно для таких мостов, где ожидается упомянутая пристройка, производить расчет и в предположении движения воды по каналу (см. ниже, пункт В), что существенно облегчает расчет. Отверстия мостов под 1 путь, имеющих оголовки в виде откосных крыльев, обязательно рассчитываются в последнем предположении.

Формула неполного водослива имеет вид:

$$(8) \dots L = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{3}{2} \left[V(h+k^3) - V k^3 \right] + a \sqrt{h+k} \right\}}$$

где L —отверстие, $h = \frac{V_0^2 - v^2}{2g}$ — подпор у сооружения, причем V_0 —допускаемая скорость в пределах сооружения, а v —скорость подхода, $k = \frac{v^2}{2g}$ — высота, соответствующая скорости притекающей воды, a —глубина потока, μ —коэффициент сжатия, принимаемый равным 0,9.

Подставляя числовые значения μ и g и заменяя h и через V_0 и v , получаем формулу более упрощенного вида:

$$(8') \dots L = \frac{Q}{0,0652(V_0^3 - v^3) + 0,9a V_0} = bQ$$

В этой формуле Q , v и a у нас уже найдены (см. выше подотделы 1 и 2), а значение V_0 (наибольшая допускаемая скорость) берется в зависимости от рода намеченного укрепления в пределах моста; допускаемая скорость при различных укреплениях приведена в книге „Деформации земляного полотна“ на стр. 65-69. Определив, таким образом, примерное значение L , берут ближайшее большее отверстие среди имеющихся типов мостов (L_0) и окончательно устанавливают действительное значение скорости в пределах моста, и высоту подпора, исходя из обратного задания, т.-е. предполагая L_0 известным и скорость неизвестной; называя последнюю через u , имеем:

$$(8'') \dots u^3 + 1,38 au = \frac{Q}{0,0652 L_0} + v^3$$

или, обозначая через M величину $0,0652 u^3 + 0,9 au$ и через N величину $0,0652 v^3$

$$(8''') \dots M = \frac{Q}{L_0} + N$$

Величина подпора определяется по формуле:

$$h' = \frac{u^2 - v^2}{2g}$$

а высота подпорного горизонта

$$H' = a + h'$$

Называя через Z допускаемое расстояние от наибольшего подпорного горизонта до бровки насыпи (у нас Z берется равным 0,50) и через X' отметку русла сооружения, получим наименьшую допускаемую отметку бровки:

$$X = X' + H' + Z$$

Но эта отметка должна еще удовлетворять другому условию, а именно—чтобы, подпорный горизонт не доходил на 0,50 саж. до верха подферменного камня (или до низа фермы, если он ниже подферменника). Таким образом, обозначая через Z' упомянутое расстояние, через h_0 высоту балластного слоя и через H_0 высоту от верха подферменника (или от низа ферм) до подошвы рельсов, имеем:

$$X = X' + H' + Z' + H_0 - h_0$$

Несомненно, цифра 0,50 саж. для Z' чрезвычайно увеличена и свободно могла-бы быть уменьшена до 0,20—0,30 саж., с тем, чтобы подферменные площадки вышались на 0,05 саж. над уровнем высоких вод. Разумеется, при пересечении таких водотоков, где отлагается большое количество наносов, эта величина должна быть увеличена в 2—6 раз (см. ниже, отдел 4 настоящей главы).

При приведенных выше подсчетах, существенное облегчение могут принести таблицы, составленные инж. Мееровичем *); в этих таблицах приведены значения b (по формуле 8'), в зависимости от данных a и v , при различных значениях V_0 , а затем величины u , в зависимости от a , N и v (по формуле 8'''). Различные пособия для облегчения подсчета помещены также в неоднократно упоминавшемся труде проф. Дубелира.

Образец расчета приложен в конце книги (прил. № 4).

В том случае, если профиль живого сечения отличается от прямоугольного (напр., деревянные мосты, каменные мосты с сильно-наклонной передней гранью, мосты с обсыпными устоями), формула (8) осложняется, принимая вид

$$(8'')L = \frac{Q - \mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{4}{3} \left[\sqrt{(h+k)^3} - \sqrt{k^3} \right] + \frac{4}{5} \left[\sqrt{(h+k)^5} - \sqrt{k^5} \right] + a^2 \sqrt{h+k} \right\} n}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} (h+a) \left[\sqrt{(h+k)^3} - \sqrt{k^3} \right] + a^2 \sqrt{h+k} \right\}}$$

В этой формуле все обозначения прежние; вновь добавляемый коэффициент n есть заложение откоса или наклона передней грани на 1-цу высоты (напр., для полукруглого откоса $n = 1,5$).

Приводя формулу (8'') к такому же виду, что (8'), имеем:

$$(8''')L = \frac{Q}{0,0652(V_0^3 - v^3) + 0,9aV_0} - n \frac{10a(V_0^3 - v^3) - 0,435(V_0^5 - v^5) + 69a^2V_0}{45(V_0^3 - v^3) + 276aV_0} = L' - nX$$

Здесь через L' обозначено отверстие моста с прямой передней гранью, определенное по формуле (8').

Так как определение второго члена требует ряда сравнительно сложных подсчетов, то часто применяют формулу (8'), совершенно игнорируя член nX , уменьшающий отверстие и считая, что величина L есть отверстие в уровне подошвы конусов. Подобный способ определения отверстия трапецевидной формы дает, несомненно, преувеличенный результат, и для получения последнего более близким к истине, приводится следующая таблица:

*) И. Меерович: Таблицы для облегчения расчета отверстий мостов и труб.

V ₀	1.25			1.63			2.23			
	0.5	1.0	1.2	0.5	1.0	1.6	0.5	1.0	1.6	2.2
Значения X в формуле (8 ^v)										
0.2	0.04	0.04	0.4	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04
0.4	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.14	0.10	0.10	0.12	0.14
0.6	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.19	0.19	0.19	0.22	0.24
0.8	0.19	0.20	0.20	0.18	0.19	0.25	0.29	0.29	0.33	0.36
1.0	0.24	0.25	0.25	0.24	0.24	0.30	0.39	0.40	0.46	0.47
1.5	0.35	0.37	0.39	0.36	0.36	0.43	0.65	0.67	0.69	0.75
2.0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.52	0.90	0.90	1.00	1.02

Промежуточные значения определяются интерполяцией.

В. Каменные трубы: мосты под несколько путей.

При значительной длине сооружения мы имеем дело со случаем протекания воды по каналу, составляющему продолжение водослива. Расход воды при этом определяется формулой Бресса.

$$(9) Q = \mu L \eta \sqrt{2g(y + k - \eta)}$$

Здесь Q , μ , L , k имеют те же значения, что в формуле неполного водослива, y — высота подпорного горизонта и η — толщина протекающего в канале слоя воды.

Наибольшее значение Q имеет при $\eta = \frac{2}{3}(y+k)$; в этом случае и полагая $\mu = 0,9$ *), получаем:

*) Для труб с раструбными входными оголовками и мостов с откосными крыльями: в прочих случаях μ берется равным 0,85; обозначая коэффициент сжатия струи для первого случая через μ' , а для второго через μ'' , имеем $\mu'' = 0,95\mu'$. Поэтому, при трубах со всякими оголовками, кроме раструбных (входных), и при мостах с обратными стенками (или им подобных) во все нижеследующие формулы должен быть введен при Q коэффициент 0,95 или вторая половина формул помножена на 1,05.

$$(9) Q = 0,35 L \sqrt{2g (y+k)^3} = 1,06 L \sqrt{(y+k)^3}$$

Однообразная скорость протекания в трубе

$$(10) \dots V = \sqrt{2g (y+k-\eta)} = \sqrt{2 \left[\frac{y+k}{3} \right]} = 1,75 \sqrt{(y+k)}$$

Из формул (9) и (10) имеем

$$(11) \dots L = \frac{5,06Q}{V^3}$$

Округляя определенное из формулы (11) отверстие до ближайшего большего типового и называя его через L_0 , имеем среднюю скорость в трубе

$$(12') \dots V_0 = \sqrt[3]{\frac{5,06Q}{L_0}}$$

подпорный горизонт

$$(12'') \dots u = \frac{3 V_0^2}{2g} - k = 0,33 V_0^2 - k,$$

толщину протекающего слоя

$$(12''') \dots \eta = \frac{2}{3} (y+k) = 0,22 V_0^2,$$

Исходя из формулы (11), возможно составить таблицу различных отверстий труб для различных допускаемых скоростей и различных расходов; имея в виду, что высота трубы при одинаковом отверстии может меняться в зависимости от высоты подпорного горизонта, от которой в свою очередь зависит скорость в трубе, таблицу следует составлять применительно к различным высотам подпорного горизонта.

Пример подобной таблицы приведен в приложениях № 5, представляющем собой образец бланка для расчета каменной трубы, и № 6.

Графический способ расчета приведен в вышеупомянутом труде инж. Сермягина.

Высота трубы определяется значениями y и η . У входа в трубу высота ее, очевидно, должна соответствовать высоте y с требуемым запасом сверх нее; последний существующими техническими условиями предусмотрен очень значительным, именно: горизонт воды не должен доходить на 0,25 саж. до пят кирпичного свода, а при каменных и бетонных сводах—не должен превышать $\frac{3}{4}$ полной высоты трубы, причем, во всяком случае, в сводах с подъемом свыше $\frac{1}{3}$ воз-

вышение ключа свода над горизонтом воды должно быть не менее 0,4 саж., а при сводах более пологих—0,25 саж. Подобный большой запас совершенно излишен и вполне возможно было-бы предельное расстояние между пятами кирпичного свода и *подпорным* горизонтом воды принять равным нулю, а расстояние между *подпорным* горизонтом и ключем прочих сводов допустить в $0,10+0,05 L$ для сводов с подъемом менее $\frac{1}{2}$, в $0,10+0,075 L$ —для полуциркульных и в $0,10+0,1 L$ —для более подъемистых; здесь L —отверстие трубы; меры—в саженьях.

Весь тот участок, на котором величина y постепенно уменьшается до η , очевидно, должен иметь одинаковую высоту с таковой у входа, тогда как в пределах горизонта η возможно высоту трубы понизить. Длина повышенного входного участка определяется формулой:

$$(13) \dots S = 1,6 \sqrt[3]{y^2}$$

Принимая известный запас, получим следующую таблицу:

y	S
До 0,90 саж. включительно . .	1,5 саж.
От 0,91 саж. до 1,35 включ. . .	2 саж.
От 1,36 до 1,45 саж. включ. . .	2,2 саж.
От 1,46 до 1,65 саж. включ. . .	2,5 саж.

Впрочем, чаще принимают длину повышенного звена трубы, в зависимости от ее отверстия, а именно:

при отв.	0,50	—1,5 саж.
”	”	0,75—1,00—2
”	”	свыше 1 с.—2,5

Высота трубы в пределах горизонта η по нашим техническим условиям определяется тем-же запасом, который дается и для входного звена; разница между высотой входного звена и прочей части трубы не должна превышать 25% высоты у входа. На самом-же деле более правильным

было-бы ввести следующее правило определения высоты трубы в пределах горизонта η : в трубах с прямыми вертикальными стенками и полуциркульным сводом горизонт воды должен находиться в уровне пят свода, а при кирпичном своде — на 0,10 саж. ниже пят; в трубах с пологими сводами — на 0,05—0,10 саж. ниже пят; в трубах с плоским перекрытием — на 0,15 — 0,20 саж. ниже низа перекрытия; в трубах подъемистых коробовых, параболических и иных трубах без прямых стенок — не выше того уровня, где пролет трубы равен 0,7 расчетного. Только при таком условии возможно правильное протекание в пределах трубы, находящееся гидравлически в совершенно иных условиях, чем протекание во входном участке. Никакой особенной беды не будет, если подпорный горизонт поднимается даже до ключа свода, но если вся труба будет работать полным сечением, то это может повлечь за собой размыв насыпи и выходного русла. Необходимо также отметить, что если в пределах горизонта воды часть трубы или вся она имеет очертание не прямоугольное, (напр. трубы параболические), то условия протекания воды будут иные, чем предположено формулой Бресса и, потому, вполне допуская *подпор* значительно выше пят свода, не следует, во возможности, предоставлять воде протекать в трубе сечением, сильно суживающимся кверху. В трубах с прямыми стенками это вполне возможно при соблюдении вышеупомянутых условий, но в трубах параболических и подъемистых коробовых приходится мириться с неправильными условиями протекания, считая для различных горизонтов и различную ширину отверстия (L); соответственно, в вышеупомянутые таблицы отверстий в зависимости от расхода должна быть введена зависимость от горизонта воды, как это и сделано в приложениях №№ 5 и 6.

При соблюдении предлагаемых норм для труб с прямыми стенками и полуциркульным или пологим сводом, устройства повышенного звена у входа во многих случаях не потребуется: вообще-же говоря, делать повышенную высоту у входного звена имеет смысл только при достаточной длине трубы.

Наконец, следует отметить, что указанные выше нормы горизонтов подпора и протекания не могут считаться пригодными для труб на водотоках с большим количеством наносов; при наличии последнего, горизонт воды должен считаться на 20—100% превышающим расчетный.

Для полного определения всех необходимых данных для проектировки труб, нужно еще знать ее продольный уклон. Минимальная величина последнего определяется по формуле Базена:

$$(14) i = \left(\alpha + \frac{\beta}{R} \right) \frac{V^2}{R} = \left(0,005117 + \frac{0,00006}{R} \right) \frac{V^2}{R}, \text{ где}$$

R — подводный радиус трубы. Величины уклонов для раз-

личных отверстий трубы могут быть вычислены заранее, если известна скорость, и включены в ту-же таблицу (приложение № 5), где сведены остальные данные необходимые для проектирования.

Как видно из предыдущего, расчет отверстия трубы значительно проще расчета отверстия моста, благодаря возможности пользоваться заранее составленными таблицами и отсутствию необходимости определения ошущью горизонта протекающей воды. Эта простота заставила в последнее время применить формулу Бресса и для расчета отверстия мостов под один путь, исходя как из вышеизложенных соображений о возможности пристройки 2-го пути, так и из того, что при ширине устоя в 2 сажени, работа его фактически отличается от работы неполного водослива. В таком случае, для мостов составляются такие-же таблицы, как и для труб; образец подобной таблице (ж. дор. Грипино - Ровно) приложен в конце книги (прил. № 6).

Упрощение расчета отверстия, однако, имеет место лишь в том случае, если y больше a (т.-е. наибольшей глубины притекающей свободным сечением воды), что, впрочем, почти всегда и имеет место. Однако, если мы придаем отверстию большие размеры, чем то требуется расходом (напр., во избежание засорения) или если скорость в трубе очень велика при небольшом расходе (овраг с очень крутым падением), то может оказаться, что $a > y$ и тогда все наши предположения окажутся неправильными. Если есть основание предполагать сказанное, то, подобрав ошущью горизонт воды и определив величину a , находим по формулам (11) — (12") величину y и, если она окажется менее a , то подыскиваем наивыгоднейшие размеры трубы уже иным способом, а именно: предполагая $\eta = a$, имеем:

$$y + k - \eta = y + \frac{y^2}{2g} - a = \frac{V_0^2}{2g}, \text{ где } V_0 - \text{допускаемая пред-}$$

дельная скорость; тогда формула (9), в предположении $\mu = 0,9$, напишется в виде

$$(9'') \dots Q = 0,9 \ a \ V_0^2 \ L$$

и

$$(11') \ L = 1,1 \frac{Q}{a V_0}$$

Высота подпорого горизонта:

$$(12'') \dots y = a + \frac{V_0^2 - y^2}{2}$$

Отсюда уже возможно определить и высоту трубы.

4. Особые методы определения отверстий.

Применение вышеизложенных способов расчета не всегда возможно и порой приходится либо дополнять, либо заменять их иными методами. Рассмотрим случаи, к которым относится сказанное.

А. Возможность прорыва плотины, лежащей выше сооружения.

На малых водотоках плотины большого размера встречаются весьма редко, так что нижеуказанный способ расчета обычно применяется лишь к значительным рекам; но, всё-же, и на малом бассейне может оказаться столь обширный пруд, что прорыв его существенно изменит условия работы сооружения. То-же самое следует сказать об образовании естественных плотин на горных речках, т.е. загромождении их обвалами и оплывинами; в этом случае, дело осложняется тем, что неизвестно, где означенный обвал может произойти, и неизвестна возможная высота подпруды. Тем не менее, достаточно обследовав ложе и берега потока, можно с известным приближением наметить место и высоту возможной подпруды.

Расход воды, получаемый при прорыве плотины, определяется таким образом: назовем объем пруда через P и скорость протекания у сооружения через V_0 ; последняя найдется по формуле.

$$V_0 = C \sqrt{Ri},$$

где R — подводный радиус в месте прорыва, $i = \frac{h}{l}$, причем h — подпор плотины, l — расстояние от плотины до сооружения. Имея P и V_0 , а также ω , т.е. площадь живого сечения у

места прорыва, можем найти время истечения $t = \frac{P}{\omega \cdot V_0}$; расход воды от прорыва

$$Q_0 = \frac{P}{t}$$

Подставляя вместо t его значение, имеем:

$$(15) \dots Q_0 = C \omega \sqrt{R \frac{h}{l}}.$$

Полученный расход прибавляем к расходу на ливень, определенному по одному из вышеизложенных способов.

Если-же отверстие рассчитывается на пропуск весенней воды, т.е. наибольший расход в нем определяется для того времени, когда плотина опущена, то расход от прорыва

должен быть прибавлен к нормальному меженнему расходу. Полученная величина сравнивается с весенним расходом, а для определения берется больший из двух расходов.

Б. Возможность забивания отверстия крупными предметами.

а) На малых водотоках часто устраиваются невысокие плотины для водопоя скота, мочки льна, стирки белья и т. д. Прорыв такой плотины никакого влияния на ливневой расход не окажет, но обломки самой плотины, обычно делаемой из глины и навоза, могут легко застрять в сооружении, если его отверстие недостаточно. Поэтому, раз такая плотина имеется выше сооружения, необходимо придавать сооружению и высоту, и ширину раза в $1\frac{1}{2}$ большие высоты плотины, так как обычно именно ей соответствует наибольшие размеры уносимых течением обломков.

б) Горные речки иногда уносят с собой громадные глыбы камня или земли, объем которых доходит до $\frac{1}{2}$ куб. саж., а в отдельных случаях и превышает эту величину. Здесь отверстие должно увеличиваться аналогично тому, как и в предыдущем пункте, или же к расчетному (неокругленному) отверстию и к расчетной высоте подпора может прибавиться наибольший возможный для данной местности размер отдельного камня или глыбы. Во всяком случае, и отверстие, и высота должны быть не менее 2 саж.

в) В оврагах с довольно широким дном, где производится сенокос, потоками от сильного ливня могут уноситься копы сена и ими забиваться отверстие сооружения. Раз имеется на лицо такой овраг и раз вода в нем может подниматься на довольно большую высоту (не менее 0,30 саж.), то отверстие искусственного сооружения должно делаться не менее 1 сажени, а высота—1,5 саж., для свободного пропуска копен сена. Большие стога течением не уносятся и потому указанные размеры совершенно достаточны.

В. Возможность засорения сооружения отлагающимися осадками. Обычно считают, что при большом количестве осадков, уносимых водотоками, необходимо придавать сооружению большой запас отверстия. Это мнение не основано ровно ни на чем и излишняя величина отверстия только вредна; мы знаем, действительно, что осадки отлагаются при резком падении скорости, а такое падение как раз и имеет место при уширении отверстия. Для того, чтобы обеспечить сооружение от забивания осадками нужно, прежде всего, придать его дну уклон, не отличающийся от дна лога или даже более крутой; такой-же уклон должен быть на участках русла, лежащих непосредственно выше и ниже сооружения. Если этого уклона придать нельзя или если сооружение находится в зоне осадков, то необходимо увеличивать не отверстие его, а высоту. В самом деле, если в сооружении начнут отлагаться осадки, то вода пойдет поверх них и подпор образуется столь значительный, что скорость в сооружении

увеличится и осадки начнут уноситься водой, пока скорость не падет настолько, что образование осадков станет возможным вновь; тогда повторится снова повышение подпорного горизонта, вынесение осадков и т. д. К сожалению, невозможно указать, насколько следует поднять высоту сооружения, и повышение приходится делать ощупью. Во всяком случае, если в пределах самого сооружения возможно отложение осадков, то круглые трубы недопустимы вовсе, а трубы иного очертания—только при высоте до ключа свода не менее 1,5—2 саж. Открытые мосты и лотки—лучше всего, так как прочистка их менее затруднительна, а засорение легко замечается.

В тех случаях, когда в пределах низины, расположенной в зоне осадков, устраивается несколько искусственных сооружений, необходимо учитывать возможность изменения течения в верховьях низины, вызываемого отложением наносов; другими словами, каждое из сооружений должно быть рассчитано на пропуск воды со всего бассейна. Это имеет место, однако, лишь в предгорных реках и ручьях; по низинам же, расположенным в равнинной или холмистой местности у подошвы косоголов, осадки очень редко вызывают изменение русла. Гораздо чаще может иметь место такое засорение всех русел, что вода пойдет по всей низине ровным слоем; поэтому, сооружениям, устраиваемым в пределах таких низин, достаточно придавать расчетное отверстие.

Г. Сооружения, с верховой стороны которых находятся водоемы со стоячей водой.

Если водоток, пересекаемый линией, протекает с верховой стороны ее через водоем со стоячей водой (озеро, большой рытый пруд, болотистая замкнутая котловина) или берет в нем свое начало, то на участке, лежащем вблизи этого водоема, условия протекания воды совершенно отличны от обыкновенных. Действительно, водоем служит аккумулятором для притекающей воды, которая не только теряет скорость, встречаясь со стоячей водой, но должна еще раньше, чем попасть к сооружению, заполнить котловину, занятую озером или прудом, что уменьшает толщину слоя воды, притекающей к сооружению. Чем больше водоем, тем медленнее он может наполняться и тем меньше количество вытекающей воды; чем ближе водоем к линии, тем больше оказываемое им влияние, которое, при значительном отдалении, может свестись к нулю.

Вести расчет отверстий для бассейнов с такими аккумуляторами, расположенными вблизи линии, по какому-либо из общепринятых способов—значит придавать заведомо преувеличенное отверстие сооружению, и, потому, необходимо применить здесь иной способ, именно способ непосредственного наблюдения. В бассейнах указанного типа, эффект ливневых вод несколько не отличается от эффекта вод весенних, и, потому, вполне возможно при первом же проходе весенней

воды установить все необходимые для расчета отверстия данные, определяя непосредственными наблюдениями горизонт воды и скорость, либо вычислив последнюю по формуле $V = c \sqrt{Ri}$; зная V, Q и a (высоту слоя воды) произвести расчет отверстия для сооружения любого типа не представляет никаких затруднений.

Определить наивысший горизонт воды всегда возможно и не дожидаясь весны, путем изучения следов воды на берегах озера или непосредственно у сооружения; в первом случае, можно сказать, что, если A отметка самой высокой воды на озерном берегу, то наивысший возможный горизонт у сооружения равен $A - li$, где l — расстояние от берега до сооружения и i — уклон на этом расстоянии. Показания местных жителей здесь могут также приниматься во внимание, потому что у озер располагаются очень часто поселения и колебания воды прекрасно известны обывателям последних.

Д. Пропуск дороги под сооружением.

Помимо путепроводов, имеющих специальную цель пропуска дорог под или над полотном, очень часто устраиваются искусственные сооружения, служащие и для пропуска воды, и для пропуска дорог. При таких условиях, расчет отверстия производится несколько иным путем, чем указано выше, в зависимости от характера проезда по дороге и условий протекания воды.

а) *Дороги с проездом, носящим лишь временный характер*, при малой скорости воды (полевые, лесные, скотопрогонные). Здесь для проезда служит то-же русло, по которому протекает вода, так что вся задача сводится к тому, чтобы придать сооружению такое отверстие и высоту, при которых возможен проезд подвод или прогон скота. Можно считать, что для пропуска подвод необходимо отверстие не менее 2 саж. и свободная высота не менее 1,8 саж., тогда как для прогона скота достаточна свободная высота в 1 саж. при отверстии в 1,5 или, лучше, в 2 саж. Таким образом, если сооружениям для пропуска воды придаются размеры не меньше вышеуказанных, то они оказываются вполне пригодными для пропуска подвод или скота; если-же нет, то отверстие и высоту следует увеличить до указанных пределов.

При расчете и постройке необходимо иметь в виду, что проезд или прогон скота требуют устройства мостовой совершенно иного характера, чем пропуск воды; устройство поперечных плетней недопустимо, а обыкновенная мостовая должна делаться одиночной и на песке, иначе ее быстро расстроят копыта животных и колеса повозок. Таким образом, высокая скорость под мостом или трубой недопустима, и, если сооружение имеет крутой скат или пропускает значительное количество воды, то приходится переходить к другим типам пропуска воды, о которых сказано ниже.

б) *Дороги с постоянным проездом или при большой скорости протекания воды.* В этих случаях, проезд делается незатопляемым и вода пропускается отдельным руслом; по способу устройства последнего, здесь можно различить 3 случая:

1) *Пропуск воды лотком* делается чаще всего под мостами на каменных опорах, причем лоток, обыкновенно, представляет собой одно целое с фундаментом устоя (черт. 12); таким-же способом устраивается лоток и в каменной трубе. При пропуске под деревянным мостом, лоток может быть обделан деревом, камнем или мостовой, имея, в последнем случае, откосы не вертикальные, а одиночные. Глубина и ширина лотка должны делаться такими, чтобы в нем могло вместиться всё количество воды, протекающее под мостом; так как иногда это требует очень широкого и глубокого лотка, то допустимо предположить некоторое затопление дороги, но не выше чем на 0,10—0,15 саж. Минимальные размеры лотка—0,30 × 0,30 саж., максимальные же зависят от расхода воды, но при ширине свыше 2 саж. и глубине свыше 1 саж. применение лотков редко оказывается выгодным и удобнее бывает прибегнуть к одному из нижеуказанных способов; при значительной глубине и ширине лотка его лучше обделывать каменной кладкой, чтобы повысить допускаемую скорость.

Каковы-бы ни были размеры лотка, вдоль него должны ставиться надолбы или перила, предохраняющие подводы и скот от падения в лоток.

Пропуск воды лотком очень удобен при небольшом количестве ее, так как проезд и прогон не портят русла и не затопляются; неудобства лотка заключается в необходимости увеличения отверстия и высоты одной из опор, так как вышеуказанные предельные размеры для проезда или прогона скота относятся, разумеется, только к незатопляемой части под сооружением.

2) *Пропуск воды отдельным пролетом* (одним или несколькими) встречается чаще всего в деревянных мостах, где он удобнее всего; в мостах на каменных опорах он имеет место лишь при очень значительном количестве воды. Сюда-же относится часто встречающийся пропуск дорог и проездов в береговые пролеты больших мостов.

Этот способ по своим достоинствам и недостаткам ничем не отличается от пропуска лотком, с той разницей, что требует увеличения высоты еще и промежуточной опоры; зато, благодаря меньшей высоте пролетного строения, абсолютная высота сооружения может быть меньше.

3) *Пропуск воды трубой* (черт. 13) удобен тем, что позволяет уменьшить отверстие сооружения; зато, он значительно увеличивает потребную высоту; поэтому, применение его удобнее всего при высокой насыпи. Чаще всего встречаются трубы круглого сечения, при котором минимальная толщина

засыпки над проездом берется соответственно типу проезжающих экипажей; подпор может быть допущен до отметки проезда. Очевидно, что круглые трубы, хотя-бы двойные, могут пропускать лишь малое количество воды; если же расход последней велик, то приходится применять трубы иного сечения—лучше всего с плоским или пологим перекрытием, причем иногда пролет трубы требуется сделать почти одинаковым с пролетом моста, так что получается двухъярусный мост (черт. 14). Подобное применение указанного способа дает очень изящное решение, но возможно лишь при очень большой высоте моста.

Чтобы не возвращаться в дальнейшем к сооружениям указанной категории, укажем здесь-же, что пропуск дороги под искусственным сооружением, предназначенное для прохода воды, очень желателен, так как позволяет уменьшить число переездов, представляющих собой весьма неприятные места при эксплуатации, да и для проезжающих по дороге несравненно удобнее и безопаснее пользоваться проездом под мостом. До сего времени у нас обращалось весьма мало внимания на комбинированный пропуск и не редкость встретить рядом с высоким мостом переезд в уровне рельсов на высокой насыпи, с крутыми, неудобными в'ездами. Строителям совершенно необходимо отказаться от этого иррационального приема, но нельзя вдаваться и в другую крайность—нельзя пропускать дорогу под водопропускным сооружением во что-бы то ни стало. Очень редко дорога проходит как раз по тальвегу долины или непосредственно рядом с ним; в большинстве случаев, дорогу приходится отводить для пропуска под мостом или трубой и этот-то отвод представляет собой ахиллесову пяту описываемого приема; если он чрезмерно длинен и, особенно, имеет крутые уклоны, то приходится отказываться от пропуска дороги под сооружением и делать для нее переезд или отдельный путепровод. Таким образом, глубокие овраги с крутыми берегами заранее исключают возможность использования сооружения для совместного пропуска дороги и воды, если только первая не проходит по дну оврага или не спускается круто ниже сооружения (напр., дороги к водопою).

Разумеется, высота сооружения также имеет существенное значение для использования его под проезд и часто от последнего приходится отказаться, ввиду значительных расходов, связанных с повышением проектной отметки; особенно это относится к тем случаям, когда для воды устраивается самостоятельное русло, в виде лотка или трубы. Наконец, следует помнить, что если под мостом или трубой вода протекает постоянно, то даже при пропуске очень малодейственной дороги нужно принять во внимание удобства пешеходов и либо заключить постоянную воду в маленький лоток, или с одной стороны сделать под мостом повышенный проход для пешеходов, в виде каменного уступа или деревянного помоста в 3—4 доски.

ГЛАВА III.

Отметка обреза фундамента. Вынос сооружений.

Отвод грунтовых вод. Расположение в плане.

1. Отметка обреза.

Обычно, отметка обреза фундамента берется равной отметке низшей точки тальвега или, при довольно глубоких живых водотоках, отметке меженного уровня воды, с соответственно углубленным заложением фундамента. Последний случай может считаться в достаточной мере обеспечивающим стекание воды с района близь плотна, именно благодаря тому, что он имеет место при значительной глубине воды и глубоком заложении фундамента. Иное приходится сказать о сооружениях, отметка обреза которых совпадает с отметкой низшей точки тальвега. В оврагах с крутыми берегами, с узким дном, выбор этой отметки вполне подходящ, но он может оказаться недостаточным при оврагах с широким дном или отлогими берегами и безусловно недостаточен при пересечении линией больших низин и болот. В таких местах, вдоль пути приходится вести длинную канаву, глубина коей в начале не должна быть меньше 0,20 саж., а у искусственного сооружения иметь глубину $0,20 + li$, где l — расстояние до сооружения от наиболее удаленного конца канавы, i — ее уклон, равный 0,002, а при очень длинном болоте 0,001—0,0015. Очевидно, что и отметка обреза должна соответствовать упомянутой глубине. Аналогичное явление может произойти и на овраге с широким дном; на логах с очень отлогими берегами (напр., при пересечении близь водораздела) направление воды часто бывает очень неопределенным, и для того, чтобы водный поток попадал в искусственное сооружение приходится рыть подводящее русло, углубляя, следовательно, отметку обреза.

Вообще говоря для придания правильности направлению воды, следует соблюдать такое правило: *лучше ошибиться в сторону понижения отметки обреза, чем в сторону ее повышения.* Некоторый запас в этом отношении дает устройство русла под сооружением в виде лотка, поперечное сечение которого представляет собой круговой сегмент,

со стрелою 0,05—0,15 саж. Но и этого запаса может оказаться недостаточным, а потому во всех сомнительных случаях (напр., в водотоках с неясно-выраженным тальвегом и разлатыми берегами), если нет еще подробной с'емки и проекта русла, проектировать сооружение следует с углубленным (на 0,05—0,15 саж.) обрезом фундамента; правда, при этом несколько увеличивается количество кладки, но у строителя остается хотя некоторый запас, который может всегда пригодиться при устройстве подхода к искусственному сооружению. Абсолютно необходимо углублять обрез фундамента в следующих случаях *):

а) *Линия пересекает овраг с широким ровным дном, низину или болото.* В этом случае прямо по продольному профилю линии можно определить отметку обреза А (в саженах) по формуле:

$$(16) \dots H + h - 0,20 - i \leq A < H' + h - 0,05 - i.$$

Здесь Н—отметка наиболее удаленной от сооружений точки низины или широкого тальвега, I—расстояние от этой точки до сооружения, i—уклон канавы, равный 0,002, а при очень длинном болоте—0,001—0,0015, h—стрела лотка сооружения. Величины со знаком ' относятся не к самой отдаленной, а к самой *пониженной* точке низины или лога, находящейся не около сооружения; подобных точек может оказаться и несколько. Из вышеприведенной формулы видно, что такое пониженное место должно пересекаться канавой, имеющей в нем глубину не менее 0,05 саж.

б) *Линия пересекает лог или низину, на которой с верховой стороны линии имеется сухая, заболоченная или наполненная водой впадина, вода из которой может протекать под насыпь или в тело последней.* В этом случае, независимо от выполнения предыдущего условия, отметка обреза должна удовлетворять условию:

$$(16') \dots A \leq H'' + h - 0,05 - l''.$$

где Н''—отметка дна впадины (при заболоченности — ее *твердого* дна), l''—кратчайшее расстояние от наиболее пониженной точки впадины до сооружения. Нужно, впрочем, указать, что при небольшой площади впадин и отсутствии грунтовой воды, их проще засыпать землей; засыпка ям и впадин, где имеются грунтовые воды, допускается лишь в том случае, если они лежат далеко от сооружения, причем необходимо принять меры для отвода грунтовой воды.

На соблюдение вышеуказанных правил, к сожалению, далеко не всегда обращается внимание и в результате мы видим сплошь и рядом заболоченные пространства кругом дороги, вредно влияющие на устойчивость насыпей, и, осо-

*) Помимо тех случаев, когда под сооружением пропускается грунтовая вода, как о том сказано в гл. I (стр. 13, 17) и III (стр. 73—75).

бенно, на состояние пути, благодаря образованию пучин. Впадины на дне встречаются гораздо реже, но эффект их может оказаться очень вредным, благодаря просачиванию грунтовых вод из них.

Правда, есть мера, позволяющая устроить спуск воды и после чрезмерно высокого заложения обреза, а именно, — устройство в дне сооружения, по середине его, более узкого лотка, но мера эта далеко не всегда может дать полную сумму потребных результатов, потому что глубина лотка ограничена условием непромерзаемости и, следовательно, зависит как от глубины заложения фундамента, так и от отверстия сооружения. Из черт. 15 видно, что решающим для глубины лотка является расстояние L , которое должно быть не менее толщины непромерзающего слоя земли, а если по лотку идет постоянная вода слоем Z , то не менее упомянутой толщины, считая от верха постоянно-протекающего слоя.

Опасения за то, что при излишнем углублении обреза под сооружением образуется застой воды — прямо смешны, потому что в пределах излишнего углубления всегда можно устроить мостовую в один или несколько слоев. Зато, углубление позволяет во многих случаях уменьшить отверстие сооружения.

2. Вынос сооружения.

Во многих случаях сооружение не удается ставить в наиболее пониженной точке тальвега, т. - е. по естественному руслу, а приходится выносить его в сторону. Подобный вынос изредка имеет место, если линия пересекает овраг не под прямым углом и делается здесь с целью наиболее выгодной разработки подводящего русла; иногда сооружение выносится в том случае, если линия идет по большой низине, по которой протекает очень извилистая река; здесь цель выноса — спрямить русло удобнейшим образом. Оба эти случая рассмотрены во второй части, а потому здесь не будем на них останавливаться и перейдем к рассмотрению двух других случаев выноса, именно — из-за условий грунта и для уменьшения высоты сооружения.

Причиной, чаще всего вызывающей вынос сооружения и, несомненно, самой важной, является такое качество грунта в наиболее пониженной точке тальвега, которое влечет за собой чрезмерное удорожание основания в случае его расположения там, требуя очень глубокого и сложного основания или очень сильного водоотлива. Вынос сооружения на место с более подходящим грунтом может не только удешевить сооружение, но и сделать его более надежным; чаще всего вынос применяется на болотах, но и в сырых местах вообще он часто имеет место; можно сказать, что там, где надежный грунт лежит на глубине свыше 1,50 саж., вы-

нос малого искусственного сооружения уже можно рекомендовать. Вопрос о том, куда именно следует выносить сооружение, определяется данными бурения; в некоторых случаях сооружение приходится выносить так далеко или так высоко, что стоимость подводящего русла превышает стоимость даже дорогого основания под невынесенное сооружение; в этом случае, разумеется, вынос делается только тогда, если основание его на естественном тальвеге ненадежно, т.е. в силу соображений не экономических, а технических.

Необходимым условием правильности работы сооружения при выносе его служит обеспечение свободного доступа воды к нему и от него, т.е. *отметка обреза выносимого сооружения должна быть ниже той, которую оно имело-бы при расположении в наиболее пониженной точке тальвега, на величину $0,05 + li$* , где l — расстояние между упомянутой точкой и местом вынесенного сооружения. Другими словами, к вынесенному сооружению должны полностью применяться формулы (16) и (16').

В оврагах с очень крутым падением вынос каменных и иных труб иногда делается с целью уменьшения длины их.

Предположим, например, что имеем овраг с продольным уклоном 0,05 при высоте насыпи в 6 саж. и при отметке обреза по оси линии А. В этом случае, длина входной части трубы равна $1,30 + 3 \times 1,5 + \frac{2,71}{0,62} = 10,3$ саж., а входной — $1,03 + 3 \times 1,5 + \frac{3,29}{0,52} = 12,1$ саж.

Отметка входного конца — $A + 10,3 \times 0,05 = A + 0,52$.

Предположим, что уклон дна трубы по формуле Базена равен 0,01; в этом случае, очевидно, нет никакой необходимости располагать трубу по оси оврага, придавая ей дну более крутой, чем следует, уклон, а вполне возможно, сохранив отметку входа $A + 0,52$ или даже более низкую, ось трубы расположить по линии грунта, примерно соответствующей этой отметке. В таком случае, длина входного конца останется прежняя, а длина выходного будет 10,5 саж.; следовательно, длина трубы сократится на 1,6 саж.

Подобным сокращением длины труб еще очень недавно сильно увлекались русские инженеры и делали ради него вынос труб там, где надо и где не надо, вводя его чуть не обязательным в технические условия на постройку отдельных дорог. Необходимо указать, что действительно-серьезное сбережение в длине трубы вынос может дать лишь при достаточно крутом продольном уклоне оврага и при значительной высоте насыпи; чем круче уклон, тем высота может быть меньше. Помимо того, следует иметь в виду, что для надежного подведения воды к вынесенной трубе отметка обреза в ее входном отверстии должна быть несколько ниже,

чем получается по расчету; так, в приведенном примере следует взять не $A + 0,52$, а не свыше $A + 0,40$. Затем, укрепление выходного русла должно быть солиднее, чем при расположении трубы по тальвегу, так что и стоимость его больше. Но действительно решающими мотивами для решения вопроса о выносе служат: наличие наносов и качество грунта. Если по оврагу проносится водой большое количество взвешенных частей земли, то вынос с уменьшением уклона недопустим, и все остальные соображения должны в этом случае отпасть. Если грунт по дну оврага плох, а по откосам хорош, то вынос в большинстве случаев оказывается рациональным и уже от количества наносов зависит, брать ли трубу с более пологим уклоном или с уклоном естественного лога; но если в откосах грунта имеют наклонное напластование, то вынос может оказаться совершенно невыгодным, а иногда и опасным.

Приняв во внимание всё вышеизложенное, мы видим, что вынос в сторону с целью уменьшения длины трубы следует делать весьма осторожно и основной задачей выноса ставить уход с плохого основания на хорошее.

В последнее время, в нашей технической литературе появились ожесточенные нападки на вынос вообще, и авторы этих нападок указывают на целый ряд примеров вредного влияния выносов на устойчивость полотна. Рассматривая подробно упомянутые примеры, приходится прийти к заключению, что и авторы, приводившие их, и строители, осуществлявшие на деле, просто-на-просто смешивали две категории случаев выноса, делаемых с совершенно различной целью: улучшения основания и уменьшения работ. В природе плохое основание встречается чаще всего в сравнительно широких логах с неслишком большим уклоном; как раз здесь может иметь самое обширное применение вынос первой категории. Между тем, строители, вынося сооружение, преследуют одновременно и вторую цель, повышая (или, хотя-бы, не понижая) отметку обреза и засыпая дно лога узкой бермой. В результате, стока воды из-за бермы вдоль нее к сооружению не существует и получается застой воды, а как неизбежное следствие его — пропитывание водой бермы и насыпи, влекущее за собой разрушение последней, полное или частичное. Подобный способ, казалось-бы, не должен допускаться техническими условиями; между тем, вот что черным по белому написано в технических условиях на постройку труб *) для целого ряда новых русских железных дорог (см. Hütte, русское изд. 1917 г., ч. III, стр. 1467): „следует избегать (!) заложения трубы на дне оврага, на месте протекания ручья или речки и, если позволяет высота для помещения трубы, относить трубу в ту или другую сторону от оси оврага; а для уменьшения длины можно тру-

*) Утверждены Комитетом Управления по сооружению жел. дорог по журнальному постановлению от 16 сентября 1906 г. за № 780.

бу располагать выше дна оврага, причем образующийся на первое время перед насыпью пруд со временем занесется наносами. При поднятии лотка трубы с верховой стороны оврага к насыпи следует присыпать земляную берму с двойным откосом, шириной поверху не менее 1,50 саж., поднимая площадку ее на 0,25 саж. выше подпорного горизонта воды". Полнейшая техническая безграмотность эти "технических" условий так очевидна, что я не стану вдаваться в комментарий ее. Такой способ выноса, разумеется, вреден и недопустим, противореча самым элементарным понятиям о водоотводе. Устраивая же последний рационально и выбирая отметку обреза сооружения в полном соответствии с крутизной и шириной лога, мы можем применять вынос сооружений в самых широких размерах и с самыми блестящими результатами.

3. Отвод грунтовых вод.

Противники выноса полагают, что последний вредно влияет на свободную циркуляцию грунтовых вод в пределах низины, так как пересечение последней насыпью, продавливающей слабый слой водоносного грунта, заставляет грунтовые воды с верховой стороны действовать под напором на нижнюю часть насыпи. В этом указании верно только одно — что в некоторых случаях устройство насыпи может вызвать застой грунтовых вод и вредное их действие на насыпь; но эти явления будут иметь место как при вынесенном сооружении, так и при невынесенном. В виду особой важности данного вопроса, остановимся на нем подробнее.

Если линия пересекает болото со стоячей водой, то никакой опасности от разобщения грунтовых вод с левой и с правой стороны насыпи не представляется, так как напора не будет. Точно также, незачем принимать какие-либо меры для обеспечения свободной циркуляции грунтовой воды, если грунт низины песчаный, каменистый или плотно-глинистый с песчаными прослойками, так как здесь осадка грунта под насыпью ничтожна. Только в том случае, когда линия пересекает заболоченную низину, имеющую уклон поперек линии или когда дно низины состоит из очень слабой глины и т. п. грунта, дающего сильную осадку, приходится принимать меры для свободного пропуска грунтовой воды под насыпью; но и это требуется не всегда, так как, если слой слабого грунта очень мощен, а насыпь не высока, то сжатие грунта будет относительно столь мало, что грунтовые воды смогут циркулировать под насыпью вполне свободно. Разумеется, вышеизложенное относится лишь к тому случаю, когда присутствие грунтовых вод не может вызвать скольжения насыпи по грунту или даже целого слоя грунта по нижележащему, что иногда имеет место при очень крутом поперечном скате местности. Раз такое опасение существует,

то отвод грунтовых вод необходим во всяком случае. Точно также необходим он и тогда, когда эти воды выбиваются наружу в виде ключей, вне насыпи или под ней. Резюмируя всё сказанное, мы можем сказать так: *устройство пропуска грунтовых вод под насыпью, не угрожающих образованием плоскостей скольжения и не выбивающихся в виде ключей, необходимо лишь в том случае, если качество грунта основания, его мощность и высота насыпи позволяют думать, что насыпь совершенно раздавит верхний водоносный слой и этим нарушит свободную циркуляцию грунтовой воды.*

Однако, устройство только поперечного пропуска для грунтовых вод под насыпью недостаточно для обеспечения циркуляции последних, так как характер движения подземных вод совершенно иной, чем надземных; прежде всего, они очень медленно протекают и многие грунты для них мало проницаемы; поэтому, прорыв канал для стока, мы направляем в него воду только из ближайшего района, а в более отдаленных участках вода будет течь по прежнему направлению и образовывать скопления у насыпи; если к этому прибавить, что направление движения подземных вод может не совпадать с таковым вод надземных и что этих направлений может быть несколько, то ясно, что рассчитывать на обеспечение целостности насыпи только сохранением свободного прохода грунтовых вод под мостом или трубой нельзя; это тем более верно, что и проход под сооружением будет существовать лишь в том случае, когда оно не обладает ни сплошным фундаментом под оба устоя, ни общим шпунтовым ограждением вокруг последних, т.-е. когда для подземной (грунтовой) воды остается свободный проход между устоями, что имеет место лишь при весьма значительном отверстии сооружения и почти никогда—у труб.

На основании сказанного, первой мерой для обеспечения пропуска грунтовых вод под насыпью является каптирование их по всей ширине лога путем открытых или закрытых водоотводов, устраиваемых вдоль насыпи, и уже затем—направление каптированной воды под насыпь. В моей книге „Деформации земляного полотна“ способы каптирования описаны достаточно подробно и здесь можно только указать, что, благодаря сравнительно небольшой глубине сжатого водоносного слоя (см. выше), можно во многих случаях обойтись, хотя-бы глубокими, открытыми лотками, которые во всех отношениях предпочтительнее закрытых дренажей или штолен. В данном случае, преимущество открытого лотка заключается еще в том, что он может служить и как орудие поверхностного водоотвода. Если же устраивается подземный дренаж или если приток поверхностных вод очень велик, то водоотводы поверхностный и грунтовой разделяются и проводятся в виде двух взаимно параллельных линий, из коих водоотвод для грунтовых вод обязательно устраивается ближе к насыпи.

Пропуск каптированных вод на низовую сторону полотна может делаться в пределах искусственного сооружения или независимо от него. Первый способ удобен потому, что позволяет сосредоточить надзор за пропуском воды в одном месте, да и облегчает работу.

А) *Пропуск грунтовых вод под искусственным сооружением* может производиться тремя способами:

а) *Путем соответственного углубления обреза фундамента*; этот способ чрезвычайно прост, но влечет за собой большой расход по увеличению высоты сооружения и излишний расход на ширину и глубину выходного русла, почему может применяться только при очень малой толщине водоносного слоя и небольшом отверстии сооружения.

б) *Путем устройства под искусственным сооружением каменного, железобетонного или деревянного лотка*. При этом требуется иногда углубление фундамента. Этот способ гораздо дешевле и может считаться подходящим для выпуска из открытых продольных лотков средней и малой глубины. Расположение лотка зависит от отверстия сооружения и от глубины лотка; при значительном отверстии лоток лучше всего делать по середине русла, а при малом отверстии и большой глубине—у подошвы одного из устоев, чтобы углубить фундамент только под ним, а другой заложить на нормальной глубине; при деревянных мостах лотки следует располагать по середине пролета.

в) *Путем укладки круглой или четырехугольной трубы под руслом* (черт. 13); этот способ—наилучший при толстом водоносном слое, так как он позволяет не углублять фундамента сооружения и сводит к минимуму кладку стен. Неудобство трубы заключается в том, что при подходе к сооружению необходимо изолировать грунтовые воды от поверхностных, во избежание попадания последних в трубу, не сообщаемую с руслом. Поэтому, означенный способ пригоден преимущественно для пропуска грунтовых вод из закрытых дренажей или штолен.

Б) *Пропуск грунтовых вод отдельным сооружением* делается преимущественно для отдельных ключей, отдаленных от сооружения; в прочих случаях, он встречается редко и, притом, только тогда, когда пересекаемая низина очень длинна, искусственное сооружение вынесено и отвод грунтовой воды к последнему затруднителен. Самостоятельный пропуск устраивается в виде деревянных, каменных и железобетонных штолен или в виде круглых труб из различного материала. При устройстве самостоятельного пропуска необходимо обратить самое серьезное внимание на то, чтобы поверхностные воды в него ни в коем случае не попадали.

Если грунтовые воды выбиваются в виде отдельных ключей под насыпью, то каптаж их производится по правилам, указанным на стр. 56 „Деформаций“. Но бывают

случаи, когда ключи могут быть выведены из-под насыпи и под искусственное сооружение: так, если ключ выбивается вблизи устоя, то от местных условий зависит—вывести-ли его за откос насыпи или пропустить по трубе, вделанной в тело устоя, и выпустить в русло, причем у выхода труба должна быть повернута в низовую сторону.

4. Расположение искусственного сооружения в плане.

Благодаря сравнительно невысокой стоимости нешироких искусственных русел, землею из которых можно использовать на насыпь и берму, строителю представляется широкая возможность регулировать подход воды к сооружению малого отверстия наиболее целесообразно; эта возможность позволяет, в большинстве случаев, устраивать сооружения, ось отверстия которых расположена нормально к линии, что, конечно, много проще устройства косых мостов и труб. Применение последних может считаться поэтому ограниченным следующими случаями:

А. Овраги с узким дном, при большой глубине их или твердом грунте откосов; здесь устраивают, обычно, каменные трубы и, во избежание дорогой работы в очень глубоком русле или в твердом грунте, их приходится располагать под косым углом к линии, если таков угол пересечения последней с тальвегом; таким образом, в данном случае применение косых труб основано исключительно на *экономических* соображениях.

Б. Овраги с большим количеством наносов. Последние отлагаются при резком понижении скорости, а оно имеет место, между прочим, при значительном изменении направления струй; поэтому, если овраг составляет с линией угол менее, примерно, 60° , то следует сооружение, каково бы оно ни было, делать косым; малый угол струи, при условии очень пологого очертания (в плане) колена, образуемого руслом, может быть допущен. Впрочем, может быть допущен поворот и более, чем на 30° , если в пределах колена и несколько ниже уклон значительно больше, чем в вышележащей прямой части русла; в этом случае, падение скорости, вызываемое изменением направления, компенсируется ее возрастанием, вследствие увеличения уклона. Как видно из сказанного, применение косых мостов, лотков или труб при наличии наносов диктуется исключительно *техническими* соображениями.

В. Пересечение с реками и каналами в пределах городов и т. п. застроенных мест. В этих случаях направление дороги и направление реки или канала зафиксированы направлением городских улиц и застроенных кварталов. Поэтому, случаи косого пересечения могут встречаться довольно часто, но дорога имеет иногда возможность, если это выгодно, сделать прямые опоры сооружения при косом пересечении, как это указано ниже (тип 6 подотдела Г).

Г. *Путепроводы.* Устройство прямых путепроводов далеко не всегда возможно по местным условиям и потому применение косых пересечений здесь встречается чаще всего; нужно, однако, оговорить, что и при косом пересечении можно устроить прямой путепровод, увеличив его отверстие; что именно будет выгоднее, приходится решать уже на основании сравнения стоимости и удобства работ. В тех случаях, когда пересечение дорог в разных уровнях происходит в месте, сильно стесненном (напр., в городе, на станции), пересечения могут получиться чрезвычайно острыми и для их осуществления требуются довольно сложные сооружения. В зависимости от угла пересечения и косины путепровода, мы можем разделить всевозможные случаи взаимного пересечения дорог на следующие основные группы:

а) *Прямое пересечение* (черт. 16). Отверстие путепровода L определяется формулой $G < L > B + b' + b'' + c' + c''$. В этой формуле, как и всюду ниже, не учтены конуса, которые при косом пересечении могут повлиять или на увеличение отверстия, или на удлинение устоев, или, наконец, на самую конструкцию конуса, который в месте наибольшего приближения к нижележащему проезду может быть обделан подпорной стенкой из кладки сухой или на растворе. Выбор одного из указанных решений зависит от местных условий.

Г—ширина габарита, В—ширина полотна *), b' и b'' —ширина водоотводных устройств с той и другой стороны **), c' и c'' —ширина разного рода вспомогательных устройств с той и другой стороны (проходы и проезды, откосы и т. д.).

б) *Косое пересечение с прямыми опорами* (черт. 17).

Отверстие
$$\frac{G + W \cos a < L > B + b' + b'' + c' + c''}{\sin a} \frac{W + \cos a}{\sin a},$$

где W —ширина устоя по передней грани, a —угол пересечения.

в) *Косое пересечение с косыми опорами под углом не менее 40°.*

1) Передние грани опор параллельны оси дороги, расположенной внизу (наиболее часто встречающийся случай,

черт. 18). Отверстие
$$\frac{G < L > B + b' + b'' + c' + c''}{\sin a} \frac{1}{\sin a}$$

*) Для уменьшения отверстия, возможно эту ширину уменьшить до ширины допускаемой на устоях каменных мостов, при условии устройства каменных подпорных стенок взамен откосов насыпи или кювета.

**) На необходимость хорошего водоотводного устройства под путепроводами очень часто обращается слишком мало внимания, а между тем оно абсолютно необходимо, так как под путепроводами, ввиду постоянной тени, сырость наиболее велика. Лучше всего величину b принимать равной ширине кювета и только в предположении ограждения вертикальными стенками уменьшать ее до 0,30—0,50 саж.

2) Передние грани опор непараллельны оси дороги, расположенной внизу; этот случай встречается весьма редко, а именно: во первых, при очень остром угле пересечения, но тогда проще применить прямую форму (тип б) или один из способов, указанных ниже, и, во вторых, если внизу расположены пути, идущие непараллельно друг другу (черт. 19). В этом последнем случае

$$x + \frac{G W \cos(\alpha - \beta)}{\sin \beta} \leq L \leq \frac{B + b' + b'' + c' + c'' + W \cos(\alpha - \beta)}{\sin \beta} + x$$

где α — больший из углов пересечения и β — меньший, x — расстояние между осями нижних путей, взятое по оси моста.

г) *Косое пересечение под очень острым углом.* Здесь косые путепроводы обычного типа не применяются, заменяясь, если позволяет место, путепроводами прямыми (очень редко — косыми с менее острым углом); если же место стеснено, то могут применяться следующие типы сооружений:

1) *Тоннельное пересечение* (черт. 20), при котором нижняя дорога заключается в тоннель или трубу различного типа со сплошными стенками; эта труба может быть сводчатой или с плоским перекрытием, причем в сводчатом типе своды могут быть железобетонными на каменных или железобетонных стенках, либо каменными (бетонными) на каменных стенках; плоское покрытие делается железным (из отдельных двутавровых балок с бетонными или железобетонными сводами между ними) на каменных стенках или железобетонным на каменных или железобетонных стенках. Наиболее экономный по высоте и объему стен тоннель — железобетонный рамного типа (черт. 21). При большой ширине тоннеля, он может разделяться на два или несколько пролетов, помощью отдельных опор или целых стен (сплошных или сквозных). Тоннельный тип относится к наиболее компактному и с выгодой применяется в том случае, если можно нижнюю дорогу довольно глубоко врезать в землю.

Впрочем, простота и компактность тоннельного пересечения заставляет иногда прибегать к нему и в тех случаях, когда нижняя дорога идет в уровне земли; тогда стенки тоннеля возвышаются над землей и могут быть сделаны сквозными, так что сбоку виден частый ряд довольно массивных опор, перекрытых арками или плоскими перемычками. Тоннель со сквозными стенками представляет собою переход к эстакадному пересечению.

2) *Простое эстакадное пересечение* (черт. 22) по принципу аналогично с предыдущим, но с той разницей, что, вместо сплошной или сквозной стенки тоннеля, устраиваются отдельные опоры, поддерживающие прогоны, на которых пойдется проезжая часть. Наиболее рациональны сооружения железобетонные, хотя не исключено применение и металлических или смешанных (металлических и железобетон-

ных); применение камня для опор здесь неподходяще, так как они будут чересчур массивны. Применение этого способа выгодно там, где нижняя дорога лежит на нуле, в неглубокой выемке и, особенно, на насыпи.

3) *Эстакадное пересечение с опорами à cheval*; в то время, как тоннельный и простой эстакадный способ пригодны и наиболее выгодны для самых острых углов пересечения, допуская даже параллельность дорог, расположенных вверху и внизу, способ с опорами à cheval годен лишь для углов не слишком острых (от 20 до 40°). Он заключается в том, что опоры ставятся не между путями или снаружи их, а над ними (черт. 23) и перекрываются прямыми балочными фермами различного пролета. Эта конструкция чрезвычайно изящна и проста; главный ее недостаток заключается в том, что расположение опор над путями требует излишнего повышения верхнего пути над нижними. Если можно высотой не особенно стесняться, если не получается чрезмерно большого пролета (т.е., если угол пересечения не слишком мал) и если, при нескольких путях, место позволяет достаточно раздвинуть их для помещения опор, то конструкцию с опорами à cheval можно предпочесть эстакадной конструкции.

Приведенные типы путепроводов, разумеется, далеко не исчерпывают целого ряда отдельных разновидностей, применение коих вызывается особенностями местных условий; но, в конце концов, почти все эти разновидности (могут быть отнесены к одному из перечисленных типов.

Глава IV.

Фундаменты малых искусственных сооружений. Исследование грунта под основание. Влияние грунтов на проектирование сооружения.

1. Фундаменты.

Фундаменты малых искусственных сооружений находятся в совершенно иных условиях, чем больших, как в экономическом, так и в техническом отношении. Прежде всего, в малом сооружении стоимость опор составляет несравненно больший % стоимости всего сооружения, а потому и удорожание опор, вызываемое сложным фундаментом, ложится несравненно тяжелее на общую стоимость сооружения, чем в сооружении большого пролета; чем последний больше, тем резче выступает указанное обстоятельство. Поэтому, если для опор большого моста дорого-стоющие кессоны являются самым нормальным типом основания, то для малого моста или трубы кессонное основание было бы непростительной роскошью. Избегнуть ее позволяют те благоприятные условия, в которые поставлены опоры малых искусственных сооружений относительно действующих на них усилий: действительно, вертикальные усилия от веса ферм и поезда, достигающие громадных размеров при большом пролете, совершенно ничтожны при малом пролете, так что это одно обстоятельство существенно уменьшает давление на грунт и позволяет основать опору малого сооружения на таком грунте, который для опоры большого моста абсолютно непригоден или допустим лишь при свайном основании. Но этого мало; наклонное давление земли на устой и вертикальное давление кладки растут вместе с высотой и на больших мостах достигают иногда очень значительных размеров; между тем, мост малого отверстия никогда не имеет большой высоты; он или заменяется в этом случае мостом большого пролета, иногда эстакадой, а чаще всего — трубой. Последняя, правда, подвержена иногда очень большому вертикальному давлению от насыпи, но, за то, это давление распределено исключительно благоприятно, благодаря тому, что одновременное давление от паровоза при большой насыпи совершенно ничтожно по сравнению с равномерно-распределенным давлением насыпи.

Всё изложенное позволяет нам обходиться при постройке малых искусственных сооружений очень простыми типами оснований. Не малую пользу при устройстве фундаментов оказывает и малый пролет, позволяя связать вместе обе опоры и этим обеспечить совместную их работу; в этом отношении особенно удобны трубы.

Подробное рассмотрение типов оснований и фундаментов не входит в нашу задачу и, потому, мы ограничимся лишь беглым обзором применения их при различных типах сооружений и при различных грунтах.

А. Мосты.

При устройстве фундаментов под опоры мостов необходимо различать два случая — мосты большой (свыше 2 саж.) и малой высоты. Вес низкой опоры, вместе с вертикальной равнодействующей давления земли, так невелик, что сплошь и рядом возможно делать очень простые и легкие фундаменты на слабом грунте, расположив обе опоры (а если есть промежуточные — то и их) на одной общей бетонной, железобетонной или рельсобетонной подушке, распределяющей давление на грунт так, что даже при почти жидких грунтах устойчивость моста обеспечена; подушка играет здесь роль плота. Подушка подвергается изгибающим и скалывающим усилиям и это-то обстоятельство заставляет ограничивать ее применение для двух или нескольких опор малой высотой последних, так как в противном случае пришлось-бы придать подушке чрезмерно большую толщину или слишком дорогую арматуру. Разумеется, для устройства общей подушки необходимы не только малая высота, но и малый пролет; чем он больше, тем толще должна быть подушка и тем менее выгодно ее применение.

При значительной высоте, следует устраивать самостоятельные фундаменты для каждой опоры; если, на практике, иногда делают общий фундамент, то это объясняется лишь тем, что при малом отверстии передние грани фундаментов очень близко сходятся и для удобства работ их выгоднее соединить, особенно при шпунтовом ограждении. Но, как норма, опоры мостов значительной высоты должны иметь раздельные фундаменты.

Благодаря сказанному, мосты малой высоты при пролете до 2—3 саж. почти всегда можно строить без свайного основания, ограничившись устройством сплошной подушки того или иного типа, в зависимости от рода грунта; при мягком глинистом или мелкопесчаном грунте, пропитанном водой (не говоря уже о крупнопесчаном), можно ограничиться бетонной подушкой, тогда как иловатые грунты, глинистые или песчаные, обычно требуют применения рельсобетонной или железобетонной подушки. Во избежание вымывания, при песчаных грунтах подушку необходимо ограждать шпунтом, как и вообще все фундаменты на мокром мелком песке. Как уже сказано выше, даже полужидкие грунты могут выдер-

жать давление невысокого моста малого пролета при наличии подушки. Разумеется, как и всюду ниже, толщина фундамента, т.е. в данном случае — подушки, и, если имеется, то его арматура, должны быть проверены расчетом, равно как и давление на грунт.

Для мостов значительной высоты или пролета, устройство свайного основания может потребоваться чаще, а именно — в иловато-глинистых и разнослойных грунтах; в грунтах же песчаных, хотя бы и сильно пропитанных водой, даже имеющих примесь ила, почти всегда возможно обойтись бетонной, рельсобетонной или железобетонной подушкой, отдельной под каждую опору.

Особенно часто свайные основания, даже при очень малой высоте и малом пролете, могут потребоваться при постройке мостов на болоте, если почему-либо вынос нельзя сделать (напр., болото очень большой длины, где условия водоотвода заставляют отказаться от выноса); при глубине болота до 1,5 саж. возможно просто сделать углубленный фундамент, но при большей глубине приходится чаще прибегать к свайному основанию; допускать, даже для малых высот, подушки на торфу нельзя, ввиду могущей последовать деформации при резкой осадке земляного полотна. Так как именно в торфу (а также в илистых, полужидких грунтах) сваи сильно работают на изгиб, то весьма полезно добавлять один наклонный ряд свай под передней гранью устоя, не включая его в расчетное число свай; для высоты свыше 2 саж. этот ряд прямо необходим в данном случае, а для высоты свыше 4 саж. — при всяком грунте, требующем свайного основания.

Из прочих типов оснований, на малых мостах иногда встречаются опускные колодцы; они очень удобны для быков в многопролетных мостах, даже при не особенно глубоком залегании твердого грунта. Для устоев же применение колодцев может считаться ограниченным лишь тем случаем, когда очень плохой грунт залегает на скале; передать давление на последнюю сваями требует очень большой осторожности при забивке, и то сваи не гарантированы от излома, а потому опускные колодцы более надежны.

Б. Трубы.

Неравномерная осадка двух или нескольких опор моста не представляет никакой опасности, если только самые опоры не повреждены; неправильное положение фермы может быть исправлено различными способами, начиная от подклинивания мостовых брусьев и кончая подведением новых рядов кладки под подферменники *). Совершенно иначе дело обстоит с трубами, где обе опоры и свод представляют одно целое и где неравномерная осадка одной опоры может

*) Сказанное, разумеется, не касается каменных мостов, к которым относится всё, сказанное далее о трубах.

повлечь за собой полное разрушение сооружения; чем пролет больше, тем резче сказывается неравномерность осадки. Благодаря этому обстоятельству, к устройству фундаментов для труб следует относиться с особой осторожностью и принимать все меры против неравномерной осадки. Первой из них является, разумеется, разрезка трубы на короткие звенья; в виду общеприятности и понятности этой меры мы не будем на ней останавливаться и перейдем к рассмотрению мер против *поперечной* неравномерной осадки.

Типовые проекты труб предвидят почти всегда сплошной фундамент под обе опоры, за исключением лишь очень больших пролетов (свыше 2 саж.), но и там часто проектируются, в случае слабого грунта, обратные своды. Сплошной фундамент обыкновенного типа (т. е. с одинаковой глубиной по всей подошве), при толщине его в 0,70—0,80 саж., можно считать вполне достаточным для труб очень малого отверстия (0,50—0,75 с.), даже при очень слабом грунте, так как балка, представляемая им, имеет очень малый пролет и прилагаемые усилия распределены по относительно значительной площади. Только в особо плохом, полужидком грунте может потребоваться еще уширение фундамента, устраиваемое в виде бетонной, рельсобетонной или железобетонной подушки. Свайные основания для труб отв. 0,50 и 0,75 саж. можно считать почти исключенными, кроме случая расположения на болоте глубже 1,50 саж.

Иначе обстоит дело с трубами большого отверстия; простое утолщение фундамента там оказывает мало пользы и, потому, обычно, считают более правильным устройство обратных сводов; но эта мера, в том виде, как ее обычно осуществляют, является лишь самообманом—и, притом, нередко вредным; обратный свод только тогда может принести пользу, если он имеет размеры, достаточные для восприятия и правильного распределения нагрузки от опор, а это условие далеко не выполняется при толщине фундамента в 0,70—0,80 саж. и пролете свыше 1 саж. Для возможности правильной работы, обратные своды должны быть рассчитаны для каждого типа и отверстия трубы и только при этом условии могут применяться. Но и устройство правильно рассчитанного обратного свода может оказаться недостаточным, в случае слабого грунта, так что потребуется еще уширение фундамента помощью подушки того или иного типа. Рельсобетонные и железобетонные подушки с соответственным расположением арматуры могут быть применены общими для обоих опор и без устройства обратного свода. Разумеется, размеры фундамента, включая подушку, могут, особенно при наличии обратного свода, оказаться настолько значительными, что выгоднее окажется применение свай под каждую опору. Во всяком случае, фундамент того или иного типа в трубах значительного отверстия, при слабых грунтах, безусловно должен проверяться

расчетом, равно как и давление на грунт. Свайные основания могут здесь встретиться как при разнослойных грунтах, так и при иловатых глинистых, не говоря о торфяных в песке-пльвуне с большой примесью ила, свайные основания также предпочтительнее. Для большой устойчивости по одному наружному ряду свай с каждой длинной стороны трубы должно быть забито наклонно.

Необходимо указать, что в отношении сопротивления деформациям от неравномерной осадки, наилучшим типом труб является рамный железобетонный, так как в нем все 4 стороны представляют собой единое целое и неравномерная осадка под одной из опор вызывает лишь перекашивание всего звена, а не деформацию какой-либо из его сторон. Совершенно то же самое имеет место для обыкновенных сводчатых труб отверстием 0,50 и 0,75 саж.

2. Общие условия исследования грунта.

Необходимость тщательного исследования грунтов под основанием всякого искусственного сооружения так очевидна и так известна каждому инженеру, что, казалось-бы, незачем и упоминать о ней. Но факты противоречат сказанному: на сколько сооружений потрачено масса излишних расходов, сколько их разрушилось или грозит разрушиться из-за пренебрежения к исследованию грунтов—трудно даже сказать. Я приведу лишь несколько подобных фактов, иллюстрирующих различные эффекты недостаточного и плохого исследования.

1) На одной из южных дорог (кажется, 2-й Екатерининской) бурение под устой высокого моста показало слой плотной серой глины, толщиной 5 с., покоящийся на скале; поэтому, фундамент был спроектирован самого обыкновенного типа. Когда приступили к рытью котлована, то оказалось, что грунт—вовсе не плотная серая глина, а смесь серой глины с большой примесью ила. Строитель предположил, что дальше грунт будет плотнее и продолжал рытье, но грунт оставался прежним, и, в конце концов, пришлось заложить фундамент непосредственно на скале, опустившись открытым котлованом на глубину 5 саж. с водоотливом и в креях. Нетрудно представить себе, какой массы труда и денег стоил этот котлован, и как просто было-бы его заменить парой опускных колодцев, еслибы данные бурения были правильны.

2) Случай обратного характера имел место при замене деревянного моста двухпролетным железным на Нижегородской линии М.-Казанской ж. д.; бурение показало слой иловатой глины в 3 саж. толщиной, лежащий на твердой глине, почему было запроектировано свайное основание. При осмотре котлована и поверочном бурении, оказалось, что никакой иловатой глины нет, а есть плотный суглинок, почему оказалось возможным обойтись без свайного ос-

нования под одним устоем и быком, но под другим устоем сваи всё-же были забиты, потому что начальник участка не рискнул пойти против присланного ему проекта свайного основания.

3) При постройке линии Петроград-Витебск мост на потоке между двумя озерами, отделенными друг от друга очень узким и, вероятно, искусственным перешейком (для пропуск шоссе), был заложен на песке и стоял благополучно до тех пор, пока по нем не начали ходить рабочие поезда; тогда оказалось, что устои моста расходятся и фермы (3 саж. отверстия) проваливаются между ними. Обследование показало, что неглубоко под песком находится толстый слой торфа, который выдержал нагрузку до известного предела, а затем стал быстро сжиматься. Мост пришлось разломать и заменить другим, на новом месте.

4) При постройке под Москвою каменной трубы на линии Москва—Брянск, бурение дало вполне хорошие результаты, но при рытье котлована под входные звенья оказалось, что грунт состоит из какой-то иловатой массы с отвратительным запахом, вернее всего — из очень старых перегнивших отбросов, так как овраг в прежнее время служил свалкой для окрестных жителей. Котлован пришлось сделать очень глубоким и переносить трубу было уже поздно, потому что выходные звенья, основанные на вполне хорошем грунте, были уже заложены. Будь здесь сделано более подробное бурение, трубу было-бы легко вынести, и тем чуть не вдвое уменьшить ее стоимость, либо-же заменить мостом.

Таких примеров можно было-бы привести массу, но я ограничиваюсь четырьмя, вполне иллюстрирующими обычные дефекты бурения: неправильное определение грунтов, недостаточную глубину скважин и недостаточное число последних.

Причинами, вызывающими упомянутые дефекты, по моему мнению, служат: во первых, наша привычка к грунтам, имеющим очень спокойные напластования и, обычно, позволяющим довольно простые системы основания; во вторых, отсутствие кадра опытных и сознательных бурильщиков (техников и десятников), при невозможности высшего технического надзору наблюдать за производством бурения; исключения составляют только очень большие мосты, при которых находятся специальные производители работ; в третьих, чрезмерное увлечение определением грунта при помощи образцов его, вынутых из скважин; эти образцы, на самом деле, очень часто служат источником заблуждения, так как, высохнув, они дают совершенно превратное понятие о качестве грунта в присутствии воды; прибавлять к ним воду впоследствии не имеет никакого смысла, так как неизвестно, сколько-же ее надо прибавить, чтобы получить ту степень влажности, которая имеется в натуре; в четвертых, пренебрежительное отношение к ре-

результатам бурения вообще, что основано на упомянутом выше отсутствии кадра хороших бурильщиков; многие инженеры считают, что буревые скважины делаются лишь для очистки совести и это мнение имеет под собою известное основание, если бурильщик никуда не годен; при таком взгляде, приходится заметить бурение скважины более надежными шурфами, но дороговизна и медленность работ последних, достигающие крайних пределов в присутствии сколько-нибудь значительного количества воды, заставляют ограничиваться лишь очень небольшим количеством шурфов, да, вдобавок, еще и неглубоких, так что пользы они, в случае сложного напластования грунтов и наличия обильных водоносных слоев, принести не могут.

Для того, чтобы впредь не встречать совершенно недопустимых дефектов в исследовании грунтов, необходимо, прежде всего, проникнуться сознанием, что бур является столь-же необходимым инструментом для проектирования искусственных сооружений и подземных водостводов, как и нивеллир. Чтобы бурение давало почти столь-же точные результаты, как и нивелировка, необходимо создание кадра опытных и сознательно относящихся к делу специалистов-бурильщиков, для чего должны быть устроены специальные курсы, с подготовкой как теоретической, так, особенно, и практической. Практикуемая иногда сдача с подряда бурения на малых сооружениях должна быть оставлена раз навсегда; насколько специально-бурильные фирмы уместны при бурении на большом мосту, где они находятся под постоянным контролем производителя работ или его помощника, настолько-же неуместно бесконтрольное (поневоле) обследование ими мелких сооружений. Очень хороший пример этого представление бурение при постройке Московской Окружной дороги, сделанное с подряда весьма известной фирмой; результаты бурения на больших мостах были очень хороши, но на малых сооружениях — прямо фантастичны.

В журнале бурения должны проставляться не только названия грунтов, толщина слоев и отметки их, но и пометки о ходе бура; эти пометки, пожалуй, важнее всего. Если бурильщик отмечает „бур идет от нажима“, „бур идет очень легко“, „бур вращается всего двумя людьми“, то будет ясно, что проходимый грунт ненадежен; обратно, пометки: „бур идет с крайним трудом“, „бур требует нагрузки, без чего не идет“, покажут на большую твердость грунта. В песчаном грунте даже звук при ходе бура имеет значение; так, гудение указывает на очень крупный и плотно слежавшийся песок.

Как-бы опытен бурильщик ни был, но он является лишь исполнителем чужих заданий и вот эти-то задания должны быть выработаны в общем, а для отдельных соору-

жений дополняемы особыми указаниями, делать которые обязан представитель высшего технического надзора. К рассмотрению этих заданий мы и перейдем.

А. Расположение скважин в плане.

Обычно, при исследовании грунта для малых сооружений ограничиваются несколькими скважинами по длинной оси сооружения; это расположение следует признать неправильным, так как оно дает понятие об уклоне пластов лишь в одном направлении. Чтобы составить геологический план грунтов основания, необходимо скважины закладывать *по периметру* котлована, в расстоянии 2—4½ саж. друг от друга; это расположение удобно еще и тем, что скважины могут помещаться вне дна котлована, где, в случае сильного напора грунтовых вод, они образуют ключи, затрудняющие работу. Впрочем, не всегда возможно избежать расположения скважин и в пределах котлована; так, для мостов под несколько путей приходится закладывать скважины в три ряда (один по оси и два по наружным сторонам), так что, при значительной высоте, по одной и более скважин могут оказаться в середине котлована; в трубах, расположенных как раз по оси тальвега, один ряд скважин приходится делать по этой оси, хотя-бы расстояние соседних рядов скважин было менее 2 саж., так как под самой низкой частью тальвега возможны наихудшие грунты.

Вообще говоря, число скважин может быть принято таковым:

Мосты под 1—2 пути, отверстием до 2-х саж. включительно—6 скважин (черт. 24).

Мосты под 1—2 пути, отверстием свыше двух саж., высота до 4-х саж.—8 скважин (черт. 25).

То же высотой свыше 4-х саж.—12 скважин (черт. 26).

Мосты с ездой по низу под один путь—добавляется по две скважины на устой.

Мосты с ездой по низу под 2 пути и мосты с ездой по верху под 3 и более путей—к предыдущему добавляется еще один или несколько рядов скважин между крайними рядами (черт. 27).

Быки различных мостов при длине их менее 4,5 саж.—4 скважины (черт. 28).

Быки при большей длине—6 скважин (черт. 29).

Трубы отверстием до 2,25 сж. включительно, расположенные по оси узкого тальвега (шириною менее ширины подошвы фундамента)—3 ряда скважин, расположенных через 3-4 саж. по длине (черт. 30).

Трубы отверстием свыше 2,25 саж., независимо от расположения—такое же число рядов скважин.

Трубы отверстием до 2,25 саж. включительно, расположенные вне оси узкого тальвега или на широком тальвеге — два ряда скважин (черт. 31).

Количество скважин может быть сокращено при исследовании грунта для путепроводов, расположенных на ровном или высоком месте, а также при бурении для водопропускных сооружений, если они расположены на суходоле с отлогами берегами (без всяких внешних признаков сырости) вблизи водораздела, так как там грунт представляет собой большею частью достаточно плотный материк; в указанных случаях достаточно одного ряда скважин, параллельно длинной оси сооружения, с *низовой* стороны его; однако, если бы оказалось, что в упомянутых скважинах встречается разнослойность или водоносность, то следует перейти к нормальному расположению скважин. Необходимо указать, что сказанное не относится к очень низким водоразделам, имеющим характер наносный, как это часто встречается, например, в болотистых районах; подобные наносные водоразделы, наоборот, требуют особо тщательного обследования, так как в них могут встретиться самые неожиданные напластования.

Если скважины, предвиденные вышеуказанными схемами, дают совершенно определенный характер напластования, то, конечно, ими и следует ограничиться; но, если грунт очень перемешанный (гнездовые и жилые образования), то, иногда приходится делать дополнительные скважины, чтобы выяснить себе полную картину грунтов основания. Количество и расположение дополнительных скважин, разумеется, не могут быть предвидены заранее.

Б. Глубина скважин.

Геологический разрез грунтов выше дна котлована важен для нас лишь потому, что он определяет характер и способ работ по рытью котлована; грунт непосредственно на дне котлована вскрывается при окончании последнего, и, если он достаточно хорош, то всегда можно или несколько углубить подошву фундамента, или искусственно уплотнить основание. Для устройства же сооружения главную роль играет слой грунта, расположенный *ниже* дна котлована, на такой глубине, в пределах которой давление от искусственного сооружения настолько значительно, что может нарушить естественное равновесие грунта. Глубина эта, обычно, принимается равной 2 саженим, и в известных пределах она совершенно достаточна; но, с увеличением высоты моста, увеличивается и длина устоя, а потому соотношение между площадью подошвы фундамента и площадью, воспринимающей давление на известной глубине уменьшается, потому что грунт воспринимает

большой процент давления от сооружения*); ввиду этого желательно ввести поправку, зависящую от высоты моста, для определения глубины скважины под подошвой фундамента. Приблизительно возможно эту зависимость выразить формулой:

$$(17) \dots 2 < T = 1 + \frac{h}{3}$$

где T —глубина скважины, считая от подошвы фундамента, h —высота моста.

Для труб имеет значение отверстие, так как в зависимости от увеличения его увеличивается ширина фундамента и уменьшается соотношение к воспринимающей площади**); но, помимо того, играет роль и высота насыпи, так как фундаменты труб под малыми насыпями передают на грунт давление, значительно меньшее предельного допускаемого; поэтому, глубину скважины ниже подошвы фундамента трубы можно определить по формуле:

$$(17') \dots 2 < T = 1 + 0,4b + 0,1H$$

где b —отверстие трубы, H —высота насыпи над ключом свода.

Если в скважине встретится каменистый слой, то она может быть и меньшей глубины, чем определено по формулам (17) и (17'), но при том условии, что каменистый слой будет пройден буром на глубину, при которой он сможет вынести давление от сооружения, в зависимости от глубины залегания каменистого слоя и рода камня.

Определенную по формулам (17) и (17') глубину скважины приходится увеличивать в следующих случаях:

а) если грунт на этой глубине слаб, то приходится доводить бурение до слоя твердого грунта, врезааясь в него на 0,4—0,6 саж.;

б) если в скважине заметны наклонные слои, то глубина скважины должна быть доведена до залегания слоев горизонтальных или материка; иногда может оказаться, что в верховых скважинах наклонные слои пройдены, а в низовых—нет; в этом случае, углублять нужно только низовые скважины.

*) Например, если подошва фундамента имеет размеры $2,3 \times 4$ саж., т. е. ее площадь = 9,2 кв. сж., то на глубине 2 саж. площадь, воспринимающая давление = $(2,3 + 2 \times 2) \times (4 + 2 \times 2) = 50,4$ кв. сж., т. е. в 5,5 раз больше. При площади $2,5 \times 6 = 15$ кв. сж., воспринимающая площадь равна $6,5 \times 10 = 65$ кв. сж., т. е. только в 4,3 раза больше.

**) Ввиду большой длины трубы, соотношение между давлением на подошву и давлением на воспринимающую площадь с известным ограничением может быть поставлено в зависимость только от ширины; так, труба, имеющая ширину подошвы в 2 сж., передает на глубину 2-х саж. давление втрое меньшее; труба, имеющая ширину в 4 сж.—только вдвое.

3. Исследование грунтов в случае выноса сооружений.

Если результат исследования на первоначально выбранном месте неблагоприятен, то приходится применять вынос и делать исследование на новом месте; здесь могут иметь место два основных случая—пересечение линией болота с ясно выраженным сухим берегом и пересечение незаболоченной низины или юга.

А) При пересечении линией болота, по оси ее производится бурение для определения объема земляных работ; это бурение сразу дает возможность решить—ставить-ли сооружение в пределах болота или выносить его. При глубине болота до 1 сажени вполне возможно не производить выноса и сделать детальное бурение в месте наиболее подходящем для расположения сооружения; при несколько большей глубине (от 1 до 1,5 саж.) вопрос о выносе решается преимущественно удобством водостова. Наконец, при значительной глубине, вынос может реализовываться почти всегда. Место для сооружения выбирается уже на сухом грунте, переход к которому виден хорошо и в натуре, и в продольном профиле, и там производят бурение; если бы оказалось, что результаты его неудачны, то приходится перейти к тому способу, который описан ниже под литерой Б. Как частный случай, можно рассматривать болота, имеющие профиль, показанный на черт. 32, т. е. в одной части глубокие, а у берега неглубокие и ровные; в этом случае предпочтительнее располагать сооружение на мелкой части болота (А на черт. 32), а не на берегу, так как отвод воды будет лучше.

Б) Если предварительного осевого бурения сделано не было, то, как уже указано выше, решение вопроса о выносе определяется неблагоприятными результатами бурения в наиболее пониженной точке тальвега; место для выноса иногда легко может быть определенно упомянутыми результатами, так как случается, что скважины с одной стороны тальвега показывают вполне хороший грунт, а с другой—плохой; очевидно, что вынос должен быть сделан в сторону хорошего грунта, и потому место для сооружения выбирается очень недалеко от первоначально выбранного. Бурение на новом месте производится сначала обязательно со стороны первоначально выбранного места, и если результаты окажутся хорошими, то пробуривают и остальные скважины; если результат первой скважины плох, то обращаются к способу беглой разведки.

Способ беглой разведки применяется тогда, где на основании данных первоначального бурения нельзя предполагать очень близко лежащего к ранее выбранному месту хорошего грунта. Способ этот заключается в том, что в расстоянии 20—40 саж. от наиболее пониженной точки тальвега пробуривают по оси линии скважину; если результаты

этой скважины хороши, то производится еще одна скважина с *низовой* стороны линии, в расстоянии, соответствующем размеру сооружения. Если результат и этой скважины благоприятен, то делают новую осевую скважину, примерно, на середине расстояния до тальвега; если результат ее и расположенной около нее низовой скважины благоприятен, то производят новое обследование еще ближе к сооружению; если нет, — то между ней и первой скважиной; таким образом, путем последовательного приближения определяют место для искусственного сооружения. Если результат первой скважины (или низовой, ей соответствующей) неблагоприятен, то бурение производится в том месте, которое, по местным условиям, служит крайним возможным пределом выноса, и, в случае получения благоприятных результатов, делают по вышеописанному, промежуточные скважины. Если-бы и в таких крайних пределах результат оказался неблагоприятен, то обследование производят аналогичным порядком с другого берега лога. При неблагоприятных условиях бурения во всем районе между двумя крайними пределами выноса (с обеих сторон лога) приходится, в зависимости от обстоятельств, решать: следует-ли сооружение выносить вообще или оставить его на первоначальном месте; здесь руководствоваться приходится уже не абсолютно хорошими условиями грунта в районе возможного выноса, а относительными. Другим условием для решения служит стоимость прорытия искусственного русла.

4. Влияние исследования грунта на проектирование сооружений.

А. Выбор типа.

В отдельных случаях, качество грунта может повлиять даже на выбор типа сооружения; действительно, если грунт неравномерно сжимаем, то применение моста удобнее применения трубы *большого отверстия*, так как неравномерная осадка ее свода крайне нежелательна. Но здесь, всё-же, можно сделать у трубы усиленный фундамент того или иного типа и настолько разгрузить давление на подошву, что применение трубы не исключено. Главным-же образом, результат исследования влияет на выбор типа при перемешанных и разнослойных грунтах.

а) Гнездовое залегание крайне разнообразных грунтов.

В большинстве случаев здесь выгоднее применять каменную трубу, так как длина ее отдельных звеньев может быть разнообразна и вполне согласована с размером тех гнезд, на которых звенья основываются. В отдельных случаях, но

гораздо реже, могут оказаться гнезда, расположенные как раз по оси линии, такого размера и в таком расстоянии, что на них можно располагать отдельные устои мост.

б) *Нахождение вблизи оси пути скопления плохого грунта.*

В этом случае, если нельзя применить выноса, то мост является наилучшим сооружением, так как его ширина невелика. Пример трубы на М.-Брянской ж. д., приведенный в начале настоящей главы, достаточно иллюстрирует это положение: среднее и нижнее звено там заложены на хорошем грунте, а входное — на плохом. Если площадь залегания последнего велика по длине, то вынос мало поможет и проще трубу заменить мостом.

в) *Нахождение среди большой площади плохого грунта отдельных островков хорошего.*

Выбор типа решается очертанием островка; подтвердим сказанное примерами из практики.

Местность представляет ровную низину длиною около 200 саж. (черт. 33), в наиболее пониженной точке тальвега — глубокое (5 саж.) болото; бурение на берегу болота (в А) показало, что на $3\frac{1}{2}$ саж. залегает слой крупного песка, сплошь пропитанного водой, а под ним находится твердая красная глина; разведочная буровая скважина в Б показала глубину песчаного слоя всего в 2 саж., но в В — снова около 3 саж. Это дало повод предполагать, что от В к Б, и далее к Г, глинистый материк идет подъемом и где-либо между А и Б, должен ближе всего подходить к поверхности земли. Действительность оправдала ожидания, так как в Г глина выходит почти на поверхность земли; детальное бурение в районе Г показало, что выход глины имеет эллиптическую форму в плане, причем длинная ось эллипса совпадает с осью линии и имеет около 8 саж. длины; короткая ось имеет длину 4 саж.; при высоте насыпи около 2,5 саж. входное и выходное звенья трубы попадали на мокро-песчаный слой, лежащий с большим уклоном на глине, тогда как при устройстве моста оба устоя целиком располагались на глинистом материке; поэтому, мост и был построен, а котлован обошелся без шпунта и водоотлива.

2) Ручей А (черт. 34) протекает по широкой низине и русло его на глубину 4 саж. состоит из мелкого водоносного песка с примесью глины, на довольно большой ширине; почти рядом находится стороречье Б, представляющее собой почти точную копию района А по напластованию. Между А и Б находится выход на поверхность глинистого материка, В, имеющий значительную длину, но ширину по верху всего около 7 саж. Так как устои моста при высоте около 3,5 саж. и отверст. 4 саж. не могли бы поместиться на твердой глине, то избрали трубу, отверст. 2,5 с., свободно разместившуюся на материке и по длине, и по ширине.

Б. Отверстие сооружений.

В целях экономии, мы всегда стараемся уменьшить отверстие сооружения, поскольку этому уменьшению не препятствуют различные привходящие обстоятельства (см. отдел 4 гл. II). Но иногда оказывается более экономичным увеличивать отверстие против определенного расчетом; это бывает в тех случаях, когда грунт у пересекаемого водотока весьма плох и требует сложного основания, причем ширина полосы плохого грунта невелика, а вынос, почему-либо, неудобен или дорог. Подобное напластование часто встречается в живых водотоках, и, при неудобстве выноса, может оказаться более выгодным увеличить отверстие сооружения настолько, чтобы его опоры стали вне района плохого грунта. Поскольку означенный способ применим—зависит всецело от экономических соображений. Чаще всего он может встретиться у мостов; у эстакад через глубокие разлывные долины, одному из средних пролетов сравнительно часто может потребоваться придать увеличенное отверстие, ввиду худшего грунта вдоль тальвега.

В. Число сооружений.

В главе 1-й уже указывалось, что при твердых грунтах приходится располагать искусственные сооружения возможно чаще, ввиду дороговизны земляных работ для отводных канав; там-же указано было, что плохое качество грунта под сооружением может вызвать необходимость в замене его в отводной канаве и, обратно, последняя, запроектированная первоначально, может оказаться требующей замены искусственным сооружением.

Замена искусственного сооружения отводной канавой по причине плохого грунта, удорожающего основание, встречается весьма редко, так как она имеет смысл лишь при одновременном наличии следующих условий: а) невозможности или дороговизны выноса; б) не слишком твердого или плавучего грунта в отводной канаве; в) возможности придать последней хороший уклон; г) отсутствия наносов. Если все эти условия имеются налицо, то сравнение стоимости сооружения или канавы решает вопрос. Но если водоток несет значительное количество наносов, то от всякого сравнения приходится отказаться и делать сооружение с дороговатоимущим основанием, приняв, конечно, всевозможные меры к удешевлению его.

Несравненно чаще может иметь место замена первоначально-намеченной канавы маленьким искусственным сооружением—по причине твердого или плавучего грунта в первой. Разумеется, если отводная канава не глубока и не длинна, то она почти всегда окажется дешевле искусственного сооружения, но при большой длине и, особенно, глубине, дело может повернуться иначе. Особенно неприятен в канаве

пывучий грунт, так как он требует дорого-стоящих дренажей, либо обделки хотя-бы дна канавы деревянным, каменным или железобетонным лотком, а при эксплуатации—усиленного надзора. Сравнение стоимости канавы и искусственного сооружения является единственным решающим фактором, причем, в случае особо-пывучего грунта, необходимо считаться со стоимостью таких мер, которые дают абсолютную безопасность канаве от заплывания (лотки, заключение в трубу). К сожалению, исследования грунта по оси канав делаются редко, так что к решению о неэкономичности их приходит уже тогда, когда затрачено довольно много денег. Следует принять за правило, что в сомнительных местах или при глубине свыше 1,5 саж. отводная канава должна предварительно исследоваться хотя-бы самым примитивным способом (щупом, земляным буром и т. д.).

Глава V.

Типы малых искусственных сооружений.

В главе II уже сделаны указания относительно допускаемых отверстий малых сооружений (гл. обр., труб) и о той высоте их, которая требуется условиями подпора. Поэтому здесь мы ограничимся лишь кратким конструктивным описанием и указанием тех случаев, когда тот или иной тип искусственного сооружения следует применять.

1. Круглые трубы.

Характерная особенность круглых труб*) состоит в том, что они доставляются на место работ в уже готовом виде, благодаря чему чрезвычайно ускоряется и упрощается устройство искусственного сооружения; к этому следует прибавить, что, будучи изготовлены заводским путем, круглые трубы имеют высшие качества материала и исполнения. Кроме ускорения в работе по устройству самого сооружения, при укладке круглых труб получается и сбережение времени в производстве земляных работ, так как засыпка трубы может начаться через неделю по окончании забутки. Упомянутая особенность круглых труб заставляет ограничивать их диаметр, чтобы вес перевозимых звеньев был не чрезмерен; поэтому, наиболее ходовые диаметры не превышают 0,50 с. При употреблении железобетонных и чугунных труб диаметра 0,60—0,75 саж., необходимо, для далеких перевозок, пользоваться железнодорожными платформами и грузовыми автомобилями, причем, для более удобного подъема и спуска труб, желательно применять краны простейшего устройства. Если вышеупомянутыми орудиями передвижения воспользоваться нельзя, то трубы большого отверстия следует применять лишь в том случае, если их имеется в известном районе несколько (или одна, но имеющая очень большую длину); тогда имеет смысл построить переносный железобетонный заводик и использовать его рабочих и технический надзор для одной большой трубы или последовательно для несколь-

*) Кроме совершенно вышедших из употребления (и его неза-
служивающих) кирпичных.

ких. Очевидно, для чугунных труб, такая схема неприменима, да и, вообще говоря, железобетонные трубы удобнее даже при малом диаметре, так как применение их позволяет устроить железобетонный завод в наиболее удобном для развозки месте; помимо того, применяя железобетонные трубы, изготовленные на заводе дороги, последняя не ставит себя в зависимость от чугунолитейных заводов.

На месте, кроме укладки самой трубы, приходится делать фундамент и забутку; из двух типов фундаментов, под главными железнодорожными путями следует применять только каменные или бетонные, так как глиняные дают всегда значительную осадку. Поэтому, применяя глиняный фундамент для труб под проезжими дорогами и второстепенными путями жел. дорог., необходимо укладывать трубу не одним общим уклоном, а учитывая неизбежную просадку, по ломанной линии (черт. 35), т. е. от входа до верховой бровки (участок АВ) с уклоном горизонтальным или почти горизонтальным, против полотна (ВВ) с проектным уклоном и далее (ВГ) — с большим уклоном против проектного.

Устройство стыков круглых труб может быть весьма различным, а именно: для чугунных труб большого диаметра — стык с железной накладкой (черт. 36); для чугунных труб малого диаметра и гончарных — раструбный стык (черт. 37); для бетонных и железобетонных труб — стык в притык с железобетонной или бетонной накладкой (черт. 38-а), стык в притык без накладки (черт. 38-б) и шпунтованный стык (черт. 38-в). Из числа трех последних типов самый удобный и достаточно надежный, если сами трубы есть забутка, это стык в притык без накладки. Камен-бы стыки ни были, они закладываются смолевой замазкой или паклей и замазываются цементом, суриком или водонепроницаемой мастикой.

Оголовки труб делаются или каменные прямые (входной на черт. 39), или из того же материала, что и труба, путем укладки косых звеньев, а иногда прямых, причем последние выступают перед линией откоса насыпи. Второй способ, хотя и кажется более простым, но менее удобен, так как острый край косых звеньев всегда представляет собой слабое место, особенно при перевозке, а выступающее прямое звено — очень некрасиво. В смысле гидравлического сопротивления, хуже всего выступающее прямое звено; прямой каменный оголовок значительно лучше, лишь немного уступая шпунтованному звену. В Америке иногда применяют раструбные выходные оголовки, сопряженные с каменным лотком (черт. 39).

Высокая, допускаемая в некоторых случаях, скорость вытекания из круглых труб (20—30 в сек.) заставляет обратить серьезное внимание на укрепление выходов из них. Для 30-ти футовой скорости (только чугунные трубы), как уже сказано, требуется устройство каменных перепадов с водобойными колодцами; для скорости в 20 может быть при-

менен тот-же тип с соответственным уменьшением длины водобойных колодцев (см. „Деформации земляного полотна“, стр. 68) или деревянный лоток, применение коего прежде считалось обязательным; дешевле и проще, а в то-же время и вполне достаточно, укрепление двойной мостовой с поперечными плетнями („Деформации“ стр. 65-66), при условии укладки верхнего слоя из камней значительной высоты (не менее 0,12) и размещения плетней не реже, чем через 0,5 саж.

Значительная высота подпора заставляет принять меры к обеспечению насыпи от проникания в нее верховой воды; поэтому, в пределах подпора, насыпь должна быть обязательно одернована сплошной дерновкой; а если она состоит из песчаного или супесчаного грунта, то верховой откос, на высоту подпора, защищен еще и бермой из глины или жирного суглинка, толщиной 0,30—0,50 саж.

Упомянутые выше преимущества круглых труб заставляют желать самого широкого применения их; особенно последние выгодны при замене деревянных мостов постоянными искусственными сооружениями, так как тогда замена упрощается до крайности. Ограниченные размеры круглых труб заставляют прибегать довольно часто к устройству труб двойных и тройных, а изредка и четверных (черт. 40).

Применение круглых труб недопустимо там, где можно опасаться засорения, вследствие затруднительной их прочистки: в пределах зоны отложения осадков, в тех случаях, когда трубе приходится придавать меньший уклон, чем имеет овраг, а вода в последнем несет много осадков, в случае резкого поворота русла у входа в сооружение или у выхода из него, и, наконец, во всех случаях, когда отверстие может быть забито крупными предметами. Если по оврагу несет-ся большое количество осадков, а трубе может быть придан значительный уклон, то применение круглых труб всё-же допустимо, но лишь тогда, когда они работают с нулевым подпором, так как, в противном случае, осадки, неминуемо образующиеся во время высокого подпора, могут достигнуть таких размеров, что засосут вход в трубу, несмотря на громадную скорость в ней. При неособенно больших количествах осадков, этой случайности можно не опасаться, но, всё-же, следует елико возможно задерживать осадки до входа в трубу, для чего должны быть устроены соответствующие приспособления. Применение решетки у самого входа в трубу, иногда практикуемое ныне, ни в коем случае недопустимо, так как решетка может только облегчить засорение входа, задерживая более крупные предметы, которые могут его совершенно затянуть; необходимо решетку несколько отодвигать от входа.

Если для пропуска воды под полотном железной дороги круглые трубы являются превосходным орудием, то тем более подходящи они для дорог проезжих, так как там они

не стеснены диаметром и менее стеснены высотой насыпи над трубой; помимо того, при узком проезде и очень малых насыпях засорение трубы менее опасно, так как прочистка коротких труб может быть сделана легко. Поэтому, более дешевые трубы, как, например, гончарные, бетонные и железобетонные, должны быть настоятельно рекомендуемы для укладки под переездами, улицами и проезжими дорогами. В частности, для пропуска кюветных вод под переездами, наиболее рациональным является применение *полукруглых* железобетонных труб, отв. $0,165 \times 0,33$ саж., изображенных на черт. 41; трубы эти достаточно широки, чтобы не бояться засорения и, в то же время, достаточно низки для того, чтобы свободно укладываться под проездом, каковая бы тяжелая нагрузка на нем ни была; естественно, что, если эта нагрузка очень велика, то каркас трубы приходится делать двойным.

2. Деревянные трубы

Применение деревянных труб ограничено, ввиду их легкой загниваемости; под железнодорожным полотном они ставятся лишь на ветвях, подъездных путях, временных путях всякого рода и второстепенных *станционных* путях, да и то, в последнем случае, под *невысокими* насыпями. Под проезжими дорогами деревянные трубы применяются чаще. Их единственное достоинство — дешевизна и простота устройства, зато замена очень затруднительна при сколько-нибудь высокой насыпи.

По своему сечению деревянные трубы разделяются на четырехугольные и треугольные, причем конструкция тех и других значительно разнится в зависимости как от отверстия, так, отчасти, и от выносимой нагрузки. Пример довольно большой прямоугольной трубы сечения под железную дорогу показан на черт. 42.

Если в будущем предполагают деревянную трубу заменить постоянной, то следует либо сразу устраивать первую на обходном пути, либо придавать ей соответственно большее отверстие; в последнем случае, трубы постоянного типа устраивается внутри деревянной, как в штольне или тоннеле.

Вообще говоря, работы по восстановлению, замене и ремонту деревянных труб настолько дороги и сложны, что применять этот тип следует лишь под кратковременными сооружениями (карьерные, обходные, рабочие пути) или в случае чрезмерной дороговизны более долговечного материала при наличии очень дешевого дерева.

3. Каменные, бетонные и железобетонные трубы (кроме круглых).

Отверстия этих труб могут делаться весьма значительными — до 4 саж. включительно, но необходимо иметь в виду, что большие отверстия требуют весьма тщательного надзора как при возведении самих труб, так и при устройстве кружал и раскружалization; помимо того, чем больше

отверстие, тем свод трубы чувствительнее к неравномерному сжатию грунта.

В зависимости от внутреннего очертания, трубы разделяются на нижеперечисленные категории:

А. *Параболические трубы* (черт. 43) имеют очертание по под'емистой коробовой кривой (обыкновенно трехцентровой), начинающейся с обреза фундамента, причем касательные к внутренней направляющей свода у пят не вертикальны, а наклонены *во внутрь*, т.-е. в сторону ключа. Этот тип труб недавно был широко распространен, ввиду доставляемой им экономии в материале, но быстрое сужение живого сечения в верхней части трубы заставило в последнее время перейти к полуэллиптическому типу, описанному ниже; прочие особенности одинаковы у обоих типов, а потому здесь мы не будем на них останавливаться.

Для устранения неравномерной высоты параболической кривой и увеличения живого сечения, при постройке Моск.-Окружной жел. дор. были применены трубы с параболическим сводом и вертикальной нижней частью (черт. 44); но трубы эти оказались совершенно неудачными, так как расход материала на них очень велик, а внешний вид—безобразен.

Б. *Под'емистые коробовые или полуэллиптические трубы* (черт. 45-а и б-б) отличаются от предыдущих тем, что касательные к внутренней направляющей свода у пят или вертикальны, или слегка отклонены *внаружу*; в первом случае, вполне возможна вставка вертикальной стенки между пятами свода и обрезом фундамента, с целью увеличения высоты трубы. Для малых-же расходов допускается небольшая срезка нижней части трубы, дающая направление касательной такое-же, как у параболических труб, но с меньшим наклоном. Коробовая кривая описываемого типа в России берется чаще всего пятицентровой. Полуэллиптические трубы дают несравненно большую высоту нестесненного живого сечения, чем параболические, и более красивы. Их несомненное достоинство—сбережение в кладке, но серьезным недостатком является сложность кружал, которые, как и в параболических трубах, поддерживают всю трубу от обреза фундамента до ключа; это-же обстоятельство затрудняет использование одних и тех-же кружал для нескольких труб одного отверстия, но разной высоты.

Расчетная толщина сводов может получиться очень малой, но необходимо иметь в виду, что и дефекты в работе (особенно при бутовой кладке), и неравномерная сжимаемость грунта могут вызвать трещины в очень тонком своде, а потому, при бутовых сводах действительная толщина свода должна быть значительно больше расчетной, а при сжимаемых грунтах обращено особое внимание на основание; если свай под ним не забито, то утолщение свода против расчетного необходимо, независимо от рода материала.

Лучшим материалом для полуэллиптических и параболических труб служит бетон или железобетон; кирпич следует считать совершенно непригодными для них.

В. *Оvoidальные трубы* (черт. 46), примененные в свое время на Манчжурской дороге, не представляют никаких преимуществ по сравнению с параболическими или полуэллиптическими и распространения не получили.

Г. *Эллиптические трубы*, имеющие очертание полного эллипса, применялись прежде только при очень малых отверстиях (0,50 саж.), и в то весьма редко; никаких достоинств этот тип не представляет.

Д. *Полуциркульные трубы* (черт. 47) с прямыми стенками, перекрытыми полуциркульным сводом, прежде почти исключительно распространенные, теперь вытеснены полуэллиптическими трубами. Между тем, они имеют несомненные преимущества, заключающиеся в простоте работы, простом устройстве кружал, возможности использовать последние для нескольких труб одинакового отверстия при разной высоте и красивом внешнем виде; помимо того, в гидравлическом отношении полуциркульные трубы имеют то серьезное достоинство, что сечение труб одинаково от обреза фундамента до пят свода; наконец, эти трубы допускают применение кирпича для сводов, каковое соображение иногда может играть роль в выборе типа. Насколько указанные преимущества имеют существенное значение, видно из того, что в Америке трубы полуциркульные и с пологим сводом имеют очень широкое распространение, а трубы полуэллиптические и параболические — почти совсем не встречаются.

Е. *Трубы с пологим сводом* (черт. 48 и 49) отличаются от предыдущих тем, что подъем свода — не $\frac{1}{2}$, а только $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{3}$, причем очертание свода может быть сделано или одним радиусом, или тремя.

Очертание одним радиусом (сегментный свод) применялось в России на М.-Виндавской жел. дор. для труб отв. 0,50—1,50 саж.; очертание тремя радиусами (пологая коробовая кривая) в России почти не встречается, но за границей имеет известное распространение, особенно — в Америке.

Уступая полуциркульным по внешнему виду, трубы с пологим сводом имеют все остальные их достоинства и превосходят полуциркульные тем, что бесполезная площадь живого сечения (т.-е. площадь выше пят свода) значительно меньше; это компенсирует большую толщину свода и позволяет применять трубы с пологим сводом под менее высокими насыпями, чем все предыдущие типы.

Ж. *Трубы с плоским перекрытием* прежде имели перекрытие из цельных каменных плит (черт. 50) и применялись только при очень малом пролете (до 0,25 саж.), и то изредка, но со введением железобетона, отверстие труб

с плоским перекрытием стало доводиться до 2 саж. и они получили широкое распространение. Наиболее экономичной конструкцией этих труб является рамная железобетонная (черт. 51); особенно хорош рамный тип для малых насыпей, так как при нем высота трубы может быть наименьшей для данного отверстия и расхода.

Помимо того, неизменяемость рамной конструкции позволяет с меньшим риском ставить трубу на сравнительно плохих грунтах без устройства сложных оснований; в этом отношении с железобетонными плоскими трубами могут сравниться лишь трубы малого отверстия (0,50—0,75) с полукруглым и, особенно, пологим сводом, благодаря массивности стенок и свода.

Оголовки труб. Каково-бы ни было внутреннее очертание труб, способ устройства входов и выходов в них, так называемых *оголовков*, остается одинаковым; типов оголовков существует несколько, а именно: прямой, раструбный, воротниковый и коридорный. *Прямой оголовок* (черт. 52) чрезвычайно прост по устройству и позволяет, буде потребуется, наращивать трубу без всякой ее ломки; недостаток его заключается в излишнем расходовании материала и в отсутствии постепенного сжатия струи. В последнем отношении наилучшая форма—*раструбный оголовок* (черт. 53); но если во входном конце раструбный оголовок дает существенные преимущества, то в выходном он большею частью совершенно не нужен, а иногда определенно вреден. Пользу уширение трубы у выхода может принести только тогда, когда естественное русло очень широко, превышая ширину самой трубы. Однако, это имеет место далеко не всегда, а, потому, ширину выходного русла при раструбном оголовке часто приходится постепенно уменьшать, по мере удаления от трубы; это не только связано с лишними расходами по уширению русла около трубы, но и влечет за собой нарушение правильного протекания воды, в свою очередь вызывающее отложение наносов в уширенной части. Очень серьезный дефект всякого раструбного оголовка,—это невозможность удлинять трубу без значительной ломки *).

Воротниковый оголовок (черт. 55) аналогичен скошенному оголовку чугунных труб; он значительно уступает раструбному в гидравлическом смысле, но имеет преимущество более простого устройства и возможности делать пристройку к трубе с меньшей ломкой; у воротникового оголовка

*) Сопряжение крыльев трубы с ее лицевым фасадом очень просто при параболических и полуэллиптических сводах; при сводах же полукруглых и пологих сопряжение может делаться различными способами, простейшие из которых показаны на черт. 54 и 55; второй способ (крылья составляют непосредственное продолжение стенок) несравненно предпочтительнее, так как дает минимум гидравлического сопротивления.

есть крупный недостаток — отсутствие над ним горизонтального карниза, благодаря чему земля, сплывающая с откоса, засоряет трубу и откос, не имея опоры внизу, легко сползает.

Коридорный оголовок (черт. 56) отличается от предыдущих тем, что скошенная часть представляет собой стену раструбного оголовка, направленную под углом $= 0$ к стенке трубы; в смысле гидравлическом он уступает всем описанным, но в смысле простоты и дешевизны превосходит их все, позволяя также делать пристройку труб с очень малой ломкой.

Одним из неудобств всех оголовков, кроме прямого, служит устройство наклонного карниза (у воротниковых оголовков карниз обычно заменяется штукатуркой), так как это влечет за собой сравнительно трудную работу по отделке верхней поверхности наклонного крыла и недостаточную устойчивость самого карниза; для обеспечения последней применяется иногда довольно дорогая мера — укладка по 1-3 штуки в каждом карнизе специальных фасонных камней (черт. 57), нижняя часть которых входит в кладку крыла, а верхняя составляет часть карнизного ряда. В Америке это неудобство разрешают весьма просто, устраивая верхнюю поверхность не гладкой, а ступенчатой (черт. 56 и 55); разумеется, ступенчатая поверхность неособенно красива, но чрезвычайно удобна в работе, может служить одновременно сходнями, а в коридорном оголовке позволяет, кроме того, обойтись без всякой ломки при пристройке.

Резюмируя всё сказанное о различных типах оголовков, мы можем сказать, что для выходного отверстия всякой трубы более всего может быть рекомендован коридорный тип, не только как самый простой и дешевый, но и как дающий меньше работ при устройстве русла, чем столь часто (и совершенно бесполезно) применяемый у нас раструбный. Коридорный тип может применяться и в обоих оголовках труб, предназначенных не для пропуска воды, а для проезда, прогона скота и т. д.. Для входного отверстия труб, пропускающих воду, предпочтительнее всего раструбный тип. Воротниковые оголовки, вообще, не особенно желательны, ввиду указанного выше их недостатка; если же почему-либо они будут избраны для данной дороги, как типовые, то их можно применять одинаково и у входа и у выхода. Прямые оголовки ныне применяются лишь в исключительных случаях (напр., для уменьшения длины трубы или при наличии подпорной стенки взамен откоса насыпи).

Материал для труб следует выбирать соответственно их типу; в России самое широкое применение для труб всякого рода имеет бут, идущий как на стены, так и на своды. Этому чрезмерному широкому применению бута следует положить конец, так как, если он вполне пригоден для прямых

стенок и крыльев, то для сводов весьма нежелателен; кладка бутового свода требует очень тщательной работы и, следовательно, отборных каменщиков и усиленного технического надзора; раз этих условий нет (что на мелких сооружениях сплошь и рядом имеет место), то бутовый свод будет сложен самым неправильным образом, с массой изъянов и, почти наверное, с обратными клиньями, так что держаться он будет только сцеплением раствора. Наилучшим материалом для сводов всякого рода служит бетон, так как работа с ним проста, требует ничтожного числа специалистов и плохой может быть только в случае недостаточного надзора за приготовлением раствора. Бетон представляет собой прекрасный материал также для фундаментов и стен, причем с наружной поверхности последних его следует слегка армировать.

Кирпич годится лишь для пологих и полуциркульных сводов, так как во всех остальных он требует притески; при этом может быть рекомендовано исключительно при применении кольцевой (так называемой *английской*) кладки, так как ее могут легко класть любые каменщики и сделать кольцевую кладку плохо можно только при умышленном желании ее испортить. Устройство же кирпичных сводов в перевязку требует очень хороших каменщиков и ослабляет кирпич, благодаря необходимости притески.

Железобетон получил широкое применение в трубах с плоским перекрытием, причем чаще всего он идет не только на перекрытие, но и на стены и сплошной фундамент (рамный тип); не исключена, однако, возможность применения плоского железобетонного перекрытия и на бутовых или бетонных опорах.

В трубах со сводчатым покрытием железобетон применяется сравнительно редко: или там, где очень дороги материалы для бута и бетона, или там, где необходимо, насколько возможно, уменьшить высоту свода.

Чем больше пролет свода, тем осторожнее нужно относиться к раскружаливанию и к засыпке труб, тем опаснее влияет даже небольшая неравномерность в осадке основания и тем тщательнее должна производиться кладка. В виду этого, весьма часто взамен очень больших труб (отверстием свыше 2,5—3 саж.) полезно ставить *двойные трубы* меньшего отверстия. Впрочем, двойные трубы применяются и в тех случаях, когда высота насыпи не позволяет ставить трубу большого отверстия.

Трубы имеют целый ряд преимуществ перед мостами, а именно: допускают меньшее отверстие при одинаковом расходе, не требуют особой точности в отметках отдельных частей, могут располагаться на сильно перемешанном грунте, благодаря разделению на звенья произвольной длины; ошибка в разбивке трубы не влечет за собой искривления оси пути, как это неизбежно бывает при такой же ошибке с мостом, непрерывность верхнего строения пути над трубой впол-

не обеспечена. Огромным достоинством труб служит, далее, отсутствие резких толчков над ними. Эти толчки почти неизбежны у мостов в течение довольно долгого времени после постройки, так как самый мост дает гораздо меньшую осадку, чем насыпь около него. Чем хуже грунт насыпи и чем ее высота больше, чем чувствительнее толчок при сопряжении ее с мостом, и тем больше времени требуется для полного уничтожения толчков. Насыпь же над трубами образует одно непрерывное целое и уменьшенная осадка над самой трубой постепенно сопрягается с сильнее оседающими соседними частями насыпи. Наконец, с отводом грунтовых вод и сырости из насыпи, дело в трубе обстоит много проще, чем в мостах, так как сток этой воды обеспечен вдоль трубы и может быть облегчен еще оставлением щелей между звеньями. Только трубы с прямыми оголовками в этом отношении неприятны, так как выход грунтовых вод затруднен оголовком; если не обращать на сказанное внимания, то может последовать отрыв оголовка, почему в *выходном* прямом оголовке необходимо, выше горизонта протекающей воды, устраивать отверстия возможно ближе к стенкам трубы и к ним протягивать дренажи вдоль всего тела трубы, основанные на плотной утрамбованной глине; в остальных трубах дренажи достаточно делать только вдоль раструбных выходных оголовков, доводя дренажи, примерно, до середины трубы.

Недостатком труб служит их большая длина, затрудняющая прочистку, затем необходимость значительной высоты насыпи и, наконец, большая восприимчивость сводов к поперечной неравномерной осадке. В последнем отношении, как уже сказано выше, менее всего чувствительны трубы полуциркульные и с пологим сводом, отверстием 0,75 и 0,50 саж., а также железобетонные рамные трубы с плоским перекрытием, как представляющие собой весьма жесткое сооружение. Поэтому, если под трубой значительного отверстия ожидается неравномерная поперечная осадка грунта, хотя-бы только под одним звеном, то необходимо или отказаться от устройства трубы, или применить особо-прочное основание (напр., свайное), или устроить железобетонную трубу с плоским перекрытием рамного типа.

Трубы предпочтительнее перед всеми другими сооружениями применяются в оврагах с очень узким дном и крутыми откосами, особенно в случае выноса на крутой скат, так как в последнем случае малая ширина трубы позволяет наиболее экономичное расположение сооружения. Но и в других случаях трубы следует применять возможно широко, благодаря вышеуказанным их преимуществам.

Наиболее осторожно нужно относиться к расположению труб на оврагах, несущих большее количество наносов. Если трубе может быть придан достаточный уклон, то опасаться засорения ее нечего; но если уклон трубы меньше уклона

оврага или если она расположена в зоне отложений, то необходимо избегать труб малой высоты или очень длинных; для сокращения длины можно применять увеличение высоты при раструбном или прямом оголовке.

Как уже сказано выше, иногда бывает нежелательным изменять направление естественного русла, хотя бы оно было направлено не под прямым углом к линии; таковы глубокие овраги или овраги с твердым грунтом берегов, где рытье искусственного русла обошлось бы слишком дорого; таковы водотоки с большим количеством наносов, где изменение направления русла вызывает усиленное отложение осадков: В этих случаях могут быть с выгодой применены косые трубы, некоторые типы которых показаны на (черт. 59). Вообще говоря, косая труба выгоднее косого моста, потому что не требует применения сравнительно-сложных косых ферм, а устройство косых оголовков затруднений не представляет; вместо устройства косого моста чаще бывает более выгодным увеличить его отверстие.

4. Деревянные мосты (на деревянных опорах).

Уже с довольно давнего времени к деревянным мостам в России относятся с каким-то предубеждением, считая их допустимыми лишь для самых захолустных линий. Объясняется это, конечно, тем стремлением к монументальным сооружениям во всех областях техники, которое в последнее время перед войной обуяло наше путейское ведомство и которое являлось простым, но весьма необдуманным, заимствованием из западно-европейской, в частности—немецкой, практики. Не входя в обсуждение этого, крайне важного, но и не менее печального по своим последствиям, явления в полном его объеме, скажем лишь по поводу данного местного случая, что западно-европейцы могут позволять себе роскошь в виде дорогих мостов, имея свои неотложнейшие нужды в железнодорожном строительстве уже удовлетворенными, а нам приходится думать не о роскоши, а о том, как бы заполнить бесконечные прорехи в деле обслуживания железными дорогами громадной страны. К этому приходится добавить, что в Западной Европе лес дороже, а камень дешевле, чем в России (за исключением, конечно, отдельных районов), а потому и степень-то роскоши там много меньше, чем у нас. Насколько наши инженерно-бюрократические сферы относились с презрением к деревянным мостам, видно из того, что к началу Великой войны деревянные мосты на деревянных опорах были вовсе исключены из числа допускаемых „Техническими условиями для проектирования магистралей“ (см. изд. 1915 г.). Только война заставила сделать некоторую уступку требованиям времени и включить в упомянутые технические условия примечание, разрешающее по-

стройку деревянных мостов на деревянных опорах, но лишь в виде временных сооружений, до первого капитального их ремонта и, притом, при условии их расположения на обездненных путях; помимо того, введено ограничение допустимой высоты и т. д. Поскольку эти требования правильны, мы посмотрим ниже.

Главными преимуществами деревянных мостов является дешевизна, простота и скорость в работе; недостатки их — сгораемость и частый ремонт. Учитывая это, можно прийти к следующему заключению: деревянные мосты неопценимы для всех без исключения линий, если требуется постройка очень быстрая; дешевизна обеспечивает им применение для всякого рода линий и ветвей упрощенного типа (временные, рабочие, хозяйственные ветви, подъездные пути и т. д.); применение их на наиболее ответственных линиях вполне допустимо, если оно рекомендуется соображениями экономического характера (дешевый лес и дорогой камень), и необходимо только иметь в инвентаре дороги приспособления и запас материала для быстрого восстановления разрушенных пожаром мостов, а при больших пролетах и значительной высоте принимать противопожарные меры на мосту, иногда снабжая его охраной.

В громадном большинстве случаев деревянные мосты на железных дорогах (кроме лишь ветвей и подъездных путей всякого рода) считаются сооружениями временными; это вполне логично, так как, если движение на дороге сильно возрастает, а с ним и доходность ее, то будет выгоднее затратить довольно большую сумму на постройку постоянного сооружения и, зато, сократить расходы на ремонт, а, главным образом, сберечь те существенные убытки, которые происходят при замедлении хода поездов по ремонтируемому или подлежащим ремонту мостам; помимо того, и риск от пожара растет, а убытки, причисляемые перерывом в движении — растут в еще большей степени. Какой срок потребуется для того, чтобы заменить деревянные мосты сооружениями из более огнестойкого и импортующегося материала — зависит, разумеется, от роста движения на данной дороге, а никак не от времени первого капитального ремонта, как требуется нашими „Условиями магистралей“. Но, во всяком случае, при проектировании деревянного моста на значительной дороге необходимо будущую замену предвидеть и конструировать мост так, чтобы замена его впоследствии могла быть осуществлена при минимуме труда и затрат, без порчи линии в профиле и плане.

Переходя к более детальному рассмотрению случаев применения деревянных мостов, на деревянных же опорах, мы, прежде всего, должны разделить их на две основные группы, резко разнящиеся друг от друга.

К первой группе относятся простые балочные и подкосные *) мосты, представляющие собой неразрезную балку, совершенно произвольной длины, опертую в отдельных точках опорами, а в подкосных мостах — и подкосами; если потребуется, мы можем наращивать сказанную балку по длине до бесконечности, добавляя потребное число опор, которые, вдобавок, могут быть сближаемы между собой, а в редких случаях и раздвигаемы. Эта группа является чистейшей представительницей деревянных мостов и при других материалах ее особенности могут быть воспроизводимы лишь с известной натяжкой (железные двутавровые балки, рельсовые пакеты, железобетонные балки). В Америке, где деревянные мосты получили широчайшее распространение, простым балочным и подкосным мостам дают название „эстакад“ (trestles) и, вполне правильно, так как под эстакадой подразумевается, вообще говоря, мостовое сооружение неопределенной длины при малых пролетах; поэтому, в дальнейшем мы и применим для мостов данной группы название „эстакадные мосты“.

Ко второй группе относятся мосты арочные, подвесные и сложные балочные, т.-е. имеющие сплошное или сквозное заполнение между двумя или несколькими поясами. Мосты этой категории не могут быть удлиняемы на произвольную длину без предварительной подготовки и их пролеты, совершенно определенные, не могут быть ни уменьшаемы, ни, тем более, увеличиваемы. Этой группе мостов, которая несколько не отличается по принципу от любого искусственного сооружения, сделанного из другого материала, в Америке дано название „собственно мостов“ (bridges); мы их будем называть „мостами определенного пролета“.

А. Эстакадные мосты.

Эстакадные мосты представляют собой весьма простую конструкцию по устройству пролетного строения и крайне разнообразную в смысле сложности — по устройству опор. Основания последних, в громадном большинстве случаев, делаются свайными; в тех-же местах, где забивка свай почему-либо затруднена, приходится прибегать к основаниям иных типов, а именно: лежневым, каменным и ряжевым. Основания на лежнях применяются на скале, очень близкой к поверхности земли, а в кратковременных сооружениях там, где трудно расположить копер (напр. при постройке путепроводов через улицы и железные дороги); если сооружение более долговременно, то основание на лежнях заменяют каменным фундаментом; ряжевые основания применяются крайне редко, преимущественно — на скале.

*) Только простейших типов; более сложные подкосные мосты должны быть причислены к арочным.

Простейший тип опор — один ряд стоек — применяется лишь при малой высоте мостов; чем высота больше, тем сложнее опоры, которые могут быть разделены на 2 основных типа — *постепенно наращиваемые и рамные**).

Опоры постепенно наращиваемые в высоту, ширину и длину употребляются чаще всего, а при невысоких и недлинных мостах — почти исключительно; рамные опоры имеют то преимущество, что могут быть собраны на стороне и уже готовыми поставлены на заранее подготовленное основание.

Очевидно, что полное использование предварительной заготовки может иметь место лишь при большом фронте работ, т. е. при длинных мостах; при малой высоте даже и большая длина не всегда выгодна для применения рам, особенно, если глубина забивки не очень велика, так что верхние части свай могут быть использованы, как стойки (например, при 12-ти аршинных бревнах и забивке на $2\frac{1}{2}$ саж., над землей останется еще 1,25 саж., даже после срезки головы на 0,25 саж.).

Применение эстакадных мостов можно назвать почти универсальным; только на судоходных реках и на реках с очень сильным ледоходом, а также на некоторых путепроводах, приходится отказываться от них, в виду большого количества опор, стесняющих реку или проезд; но и здесь, в случае особо экстренной постройки, хотя часть реки может быть перекрыта эстакадным мостом.

Быстрота возведения, простота и дешевизна конструкции, в связи с недолговечностью дерева, вызвали к жизни совершенно особое временное применение описываемых мостов — а именно, взамен длинных и высоких насыпей. Возведение длинных насыпей, даже при не очень большой высоте, если нет местных резервов, как это бывает на болотах, идет чрезвычайно медленно и стоит дорого, благодаря дальности возки. Между тем, заменяя насыпь длинной деревянной эстакадой на сваях, возможно значительно ускорить работу, особенно там, где зимний период не пригоден для земляных работ, но может быть полностью использован для свайной бойки и плотничных работ, равно как и для развозки гужом леса по санному пути; наиболее выгодна упомянутая замена тогда, когда окружающая местность покрыта строевым лесом, хотя бы и не слишком высокого качества. Не менее дорого и медленно возведение насыпи на очень глубоких разлывных оврагах или на подходах к высоким мостам через большие реки, так как местные резервы могут дать лишь ничтожное (относительно) количество земли, да и большую кубатуру земляных работ исполнить можно не так скоро; здесь удобнее всего заменить земляную насыпь эстакадой с

*) Прежде применявшиеся многоярусные опоры ныне совсем оставлены; ряжевые опоры, обязательно связанные с ряжевым же основанием, совершенно не применяются.

рамными опорами (собираемыми, чаще всего, в стороне) на том или ином основании, причем на подходах к большим рекам—лишь в том случае, если она не может быть повреждена ледоходом. По окончании эстакады и открытии движения уже не будет препятствий к постепенной засыпке длинных болот и глубоких разлтых оврагов, причем засыпка эта производится с той же эстакады поездами. Время для засыпки желательно выбрать так, чтобы окончание ее совпадало с одним из сроков капитального ремонта эстакады.

Достоинство описанного способа заключается еще в том, что грунт для засыпки эстакад может быть взят очень хорошего качества (напр. крупный песок), хотя-бы его пришлось подвозить издалека. Между тем, во время постройки поневоле приходится довольствоваться тем грунтом, который находится в соседних выемках или резервах. Так как для высоких насыпей качество грунта имеет первостепенное значение, то мы можем даже сказать, что эстакады следует применять взамен высоких насыпей, независимо от скорости и стоимости работ, еще и там, где грунт для насыпи плох, а лучшего достать во время постройки нельзя*).

В России, к сожалению, применение деревянных эстакад взамен насыпей находится в полном пренебрежении; указанное выше требование „Технических условий магистралей“, ограничивающее высоту деревянных мостов 4—6 саженьями и заставляющее строить их непременно на обходном пути, практически исключает применение эстакад. Между тем, именно у нас, в районах богатых лесом, деревянные эстакады при пересечении как оврагов, так и очень длинных замерзающих зимою болот, могли-бы иметь широкое применение. К стати сказать, наиболее рациональным способом возведение эстакады на болотах с достаточно-твердой корой является работа из середины, так как тогда фронт работ может быть развит до максимума, благодаря использованию земли для ближайших к резервам концов насыпи; в этом случае, длина и насыпи и эстакады определяется относительной успешностью работ того и другого, т.-е. будет зависеть от момента смычки работ. Пример такой работы при 6 копрах показан на черт. 62.

Если предположено эстакадный мост заменить впоследствии более долговечным сооружением, то, как уже сказано выше, необходимо предвидеть возможность этой замены при самой постройке деревянного моста. Для производства заме-

*) Подобные эстакады, благодаря своей длине, а иногда и высоте, особенно опасны в пожарном отношении; в виду этого, в Америке закрывают сверху прогоны и насадки листами оцинкованного железа, с отогнутыми вниз бортами (черт. 61а), а при очень длинных эстакадах иногда применяют сплошной балластный слой на деревянном полу (черт. 61б). Благодаря принятию таких мер и применению пропитанного леса, длиннейшие эстакады (в несколько верст и даже десятков верст длиной) существуют в Америке в течение почти полустолетия (напр., на ж. д. Louisville and Nashville).

ны не требуется непременно устройства обходного пути; в большей части случаев, возможно обойтись без него. Таким образом, категоричность требования „Технических условий магистралей“ о непременном устройстве деревянного моста на обходном пути совершенно бессмысленна и влечет за собой только лишние расходы на устройство обходных путей там, где без них прекрасно можно обойтись. Правда, существуют такие мосты, где обходной путь необходим для замены, но эта необходимость связана с наличием совершенно определенных условий.

При замене без обходного пути, внутри сооружения остается часть свай, но с соблюдением того условия, чтобы толщина кладки от поверхности свай до боковых и задних граней устоя была не меньше 0,30 саж., а до передней — не меньше 0,50 саж.; внутри сводов труб сваи оставаться не должны; сказанное следует предвзять при проектировании деревянного моста, в противном случае приходится задавать такой пролет металлической или железобетонной форме, чтобы сказанное условие удовлетворялось; так, например, на М.-Казанской ж. д., где в деревянных мостах сваи чаще всего были расположены через 1 саж. между их осями, пришлось дать отверстия железным мостам вместо 1, 2, 3, 5 саж. в 8, 15, 22 и 36 футов, благодаря чему ряды свай располагались очень удобно по отношению к каменной кладке устоя.

Кроме свай, никаких деревянных частей внутри устоя оставаться не должно, почему во время работ приходится обычно ставить разные дополнительные подпорки. Более подробно способ производства работ по замене деревянных мостов постоянными сооружениями описан в прилагаемом в конце книги „Наставлении по замене“, сопровождаемом соответственными чертежами (прил. № 1); в означенном наставлении приведена лишь замена деревянных мостов мостами на каменных устоях*) и каменными трубами; замена чугунными и иными круглыми трубами производится легче всего и настолько проста, что о ней не говорится.

Наибольшая трудность при замене имеет место в случае сложных оснований; мало того, при некоторых из них например, при свайных и кессонных основаниях, замена без обходного пути совершенно невозможна. При основании, огражденном шпунтом, последний должен делаться общим для обоих устоев, а поперек линии приходится производить забивку лишь с краев: забивая в пределах габарита, хотя и возможна помощь козлов с выдвижными стрелами во время, свободное от поездов, но, чаще всего, обходятся без нее, заменяя забиваемый шпунт опускным, осаживаемым ударами ручной бабы; ввиду недостаточной водонепроницаемости такого шпунта, его иногда делают двой-

*) С обратными стенками: гораздо удобнее для замены тип мостов с откосными крыльями.

ным. Основания на опускающих колодцах изредка могут быть довольно удобно устраиваемы при замене без обходного пути, причем самый деревянный мост может быть использован, как подмости, поддерживающие колодец; однако, в данном случае необходимо рационально спроектировать опоры, чтобы сваи не мешали рытью внутри колодца: поэтому, наилучшим является тип из двух и более колодцев, перекрытых арками или, лучше плоскими плитами, если, конечно, вся опора (напр. бык) не помещается между сваями. Если колодец опускается на глубину большую, чем забиты сваи, то, вообще говоря, применение его может быть допущено лишь при очень плотном грунте, во избежание выдавливания его из под свай во внутрь колодца.

Помимо правильного расположения свай (или правильного пролета ферм) и рода основания, существенную роль при замене постоянным сооружением играет высота моста. Деревянный эстакадный мост длиной 20 саж. имеет ту-же высоту пролетного строения, что и мост длиной в 2 сажени, благодаря своей обязательной многопролетности. В совершенно ином положении оказываются железные и железобетонные мосты, высота ферм которых меняется в зависимости от пролета; устройство промежуточных опор для них обходится дорого, особенно—при наличии водоотлива или сколько-нибудь сложного основания. Поэтому при постройке деревянного моста возникает вопрос: не поднять-ли проектировку настолько, чтобы впоследствии замена могла быть произведена без устройства обходного пути, помощью однопролетного моста. Ответ на этот вопрос приходится давать, прежде всего, в зависимости от рода грунта: если последний требует сложного основания, то проще всего построить постоянный мост с применением обхода, а потому с высотой деревянного моста нечего считать. В остальных случаях решение зависит от отверстия моста; если оно больше 5 саж. и устройство быков связано с сильным водоотливом, то замену следует делать с устройством обходного пути; при отсутствии большого водоотлива, проектировку следует поднять настолько, чтобы замена была возможна без обходного пути, при условии разделения отверстия на несколько пролетов, не свыше 5 саж. каждый. При отверстии 5 саж. и менее, если опоры требуют сильного водоотлива, проектировка должна соответствовать высоте однопролетного моста, в предположении замены без обходного пути; если водоотлива не потребуется, то допустимы промежуточные опоры, числом не более двух, при каждом пролете не менее 1,5—2 сж. Соответственно с этим, должна назначаться проектировка и по высоте.

Применение обходных путей неизбежно при свайных и кессонных основаниях, а также в большинстве оснований на опускающих колодцах. Помимо того, обходными путями при-

ходится пользоваться: при замене мостами большого пролета (свыше 5 саж.); причин этому несколько: прежде всего, именно на таких мостах чаще всего встречаются сложные основания; далее, финальная операция замены—удаление прогонов и голов свай—занимает довольно много времени, что вызывает длительный перерыв движения; наконец, высота ферм больших пролетов настолько велика, что в большинстве случаев оказывается более выгодным построить эстакадный мост значительно меньшей высоты, а отсыпку более высокой насыпи приурочить к моменту перестройки.

Во избежании порчи плана и профиля линии, следует при постройке тех деревянных мостов эстакадного типа, кои впоследствии надлежит заменить с помощью обходных путей, сразу задаваться двойной проектировкой профиля и плана; одна окончательная, на коей затемно располагаться сооружение каменное, железное или железобетонное, и другая временная, на которой располагается деревянный мост. Другими словами, при постройке деревянного моста должен строиться не главный путь, а обходной, при замене же сооружения—возводиться главный путь.

Б. Мосты определенного пролета. Мосты этой категории применяются для перекрытия судоходных рек, различных дорог, рек с большим изходом и, вообще, в тех случаях, когда частое расположение промежуточных опор неудобно. Главнейшее применение железнодорожные деревянные мосты определенного пролета на деревянных же опорах находят на временных путях всякого рода, так как опоры их представляют весьма слабую, легко сгнивающую часть. Поэтому, для сооружений более или менее постоянного типа этим мостам предпочитают деревянные на каменных опорах. Нужно также заметить, что последний тип удобнее и в тех случаях, когда деревянную ферму предположено впоследствии заменить железной, благодаря тому, что замена деревянного моста на деревянных опорах без обходного пути почти невозможна, тогда как при каменных опорах она производится весьма просто. Только в случае особой срочности постройки приходится, даже в предвидении замены деревянных ферм металлическими, применять деревянные или ряжевые опоры, как наиболее быстро исполнимые. Но уже обязательно на обходном пути.

Из весьма многочисленных систем деревянных ферм у нас применяются почти исключительно балочные, из которых в последнее время широкое распространение получила система Лембеке, благодаря почти полному отсутствию в ней железа и простоте работы. Эта система, однако, для ремонта представляет известные затруднения и в этом отношении ей следует предпочесть старые системы Тауна и Гау, или требу-

ющую гораздо менее железа, чем последняя, систему Рихтера. Для небольших отверстий при езде по низу самыми простыми являются подвешенные фермы разных типов.

5. Деревянные мосты на каменных опорах.

Ввиду трудности ремонта деревянных опор, деревянные фермы на каменных опорах применяются сплошь и рядом даже на тех дорогах, где не предвидится замены фермами железными или железобетонными; если же эта замена предвидится, то применение каменных опор вызывается удобством уже другого рода, упомянутым в конце предыдущего отдела, а именно—возможностью производить замену без устройства обходного пути. Действительно, если высота т. н. шкафа, т. е. пространства между подферменной площадкой и подошвой рельса, одинакова у деревянной и заменяющей ее фермы, то вполне возможно собрать последнюю на подмостях рядом с мостом и, удалив деревянную ферму, поместить вместо нее постоянную; указанное удаление может быть произведено либо выкаткой деревянной фермы на специально-подготовленные подмости, либо, если она находится в очень плохом состоянии—простым сбрасыванием ее. Первый способ, во всяком случае, предпочтительнее для всех ферм сколько-нибудь значительного пролета, так как он много безопаснее во всех отношениях.

Если деревянные фермы выше металлических, что очень часто бывает, то возможно применить различные способы для того, чтобы осуществить замену без обходного пути. Так, возможно один пролет деревянного моста разбить на два и более, устраивая промежуточные деревянные опоры, причем деревянная ферма может быть разрезной или неразрезной. Чтобы не стеснять пространства между каменными опорами, возможно переднюю грань последних делать ступеньчатой (черт. 63), причем на нижнюю ступень опирается деревянная ферма, а на верхнюю—железная; до установки последней, верхний шкаф заполняется деревянной рамой. Так как этот способ требует излишнего количества каменной кладки, то нижний уступ передней грани устоя может быть заменен деревянной опорой, на которую и опирается деревянная ферма.

Сказанное выше не относится к арочным и подкосным деревянным мостам на каменных опорах; замена их металлическим пролетным строением невозможна без перевода движения на временный обход, а потому мосты указанных типов устраиваются лишь там, где замены их делать не предполагается. Таким образом, область применения арочных и подкосных деревянных мостов ограничена почти исключительно проезжими дорогами.

6. Железные мосты на деревянных или ряжевых опорах.

Железные мосты на деревянных или ряжевых опорах встречаются только как временные сооружения и, притом, в тех случаях, когда требуется особая спешность постройки. Они могут быть сведены в следующие три группы по роду материала пролетного строения:

А. Железные фермы разного типа и пролета применяются почти исключительно на эксплуатируемых линиях для замены сгоревших деревянных мостов или для экстренно устраиваемых мостов под новый путь. Применение их ограничено малым числом изгибных ферм, т. е., обычно, старых ферм, замененных впоследствии более сильными. Чтобы использовать эти слабые фермы, хотя бы при движении с предупреждением или проводником, их приходится, обычно, несколько усиливать, а иногда — и ставить под ними промежуточные опоры. Для удобства перевозки, пролет ферм не должен превышать 10 саж.

Во время военных действий, деревянные или ряжевые опоры часто применяются взамен каменных, подерживая фермы такого пролета, который имеется налицо.

Б. Двутавровые балки разного профиля и в разном числе укладываются в тех случаях, когда нужно перекрыть пролет от 2 до 6 саж. при минимальной высоте, недостижимой в случае применения деревянных прогонов. Другими словами, этот способ перекрытия пролетов применяется при устройстве путепроводов через железные и проезжие дороги.

В. Рельсовые пакеты могут применяться для пролетов до 6 саж. (в зависимости от длины рельсов); хотя профиль рельса дает менее выгодное распределение материала, чем двутавра, так что перекрытия этой группы несравненно тяжелее обоих предыдущих, но за рельсами остается то преимущество, что и при постройке, и при эксплуатации они всегда имеются под руками; поэтому, если нужна особо спешная работа по устройству моста, то рельсовые пакеты имеют громадное преимущество, тем более, что и самая работа по устройству перекрытия очень проста. Детали конструкции видны из черт. 64.

7. Мосты эстакадного типа на каменных, металлических и железобетонных опорах.

К означенной категории относятся постоянные мосты произвольной длины, разбитые на большое число пролетов сравнительно малого отверстия и имеющие цели иные, чем только пропуск воды. Применение мостов этой категории сводится к следующим случаям:

А) путепроводы и пешеходные мосты большой длины:

- Б) пропуск дороги вдоль улицы, при разном уровне обонху;
- В) замена дорого стоящего участка насыпи;
- Г) замена насыпи с ненадежным основанием.

При всех этих четырех случаях эстакада находится в различных условиях и предъявляемые к ней требования совершенно различны, почему и типы пролетного строения для каждого случая иные.

А) *Путепроводы и пешеходные мостики* *). Главнейшее требование, предъявляемое к ним, заключается в возможном уменьшении высоты пролетной части, для того, чтобы разность уровней пересекающихся дорог была наименьшей **). Это требование дополняется еще и другими, а именно—применением возможно тонких опор, чтобы не стеснять проезда или путевых устройств под путепроводом. В результате совокупности обоих требований, мы видим, что путепроводы устраиваются почти исключительно балочного типа, железные или железобетонные, на таких-же опорах; каменные промежуточные опоры представляют собой редкое исключение, равно как и арочные пролеты; каменные арки совершенно не применяются. Деревянное пролетное строение на железных (рельсовых) опорах применяется редко и, притом, почти исключительно для пешеходных мостиков.

Из двух материалов—железа и железобетона, последний чаще всего встречается при пропуске сверху проезжей дороги (или прохода для пешеходов), благодаря, в частности, удобному и дешевому устройству проезжей части ***); если же сверху проходит железная дорога, то железо встречается чаще, благодаря возможности уменьшить высоту проезжей части. Последняя, в случае применения железобетона, должна быть защищена от непосредственного действия на нее подвижной нагрузки и минимум высоты от низа фермы до подошвы рельса может считаться равным 0,25 саж. и то при очень малом пролете (до 3 саж.). В железном-же мосту, с ездой по низу или по середине, если применять т.-наз. *американскую* проезжую часть, т.-е. сплошное заполнение между фермами коробчатым железом, возможно уменьшить озна-

*) К пешеходным мостикам относится и сигнальные мостики на станциях.

**) Исключения существуют, но очень редко, и встречаются тогда, когда одна из дорог проходит по очень глубокой выемке или по очень высокой насыпи, а другая—почти в уровне земли.

***) Применение рельсовых стоек и прогонов для пешеходных мостов и путепроводов под проезжую дорогу, очень часто рекомендуемое, не дает никаких серьезных выгод, благодаря невыгодному распределению материала и трудности придавать рельсу желаемую форму; поэтому, если уже рельсы решено применять в силу каких-либо особых соображений, то необходимо, поскольку возможно, упростить очертания сооружения.

ченную высоту до 0,16 саж. (черт. 65), независимо от пролета; необходимо считаться и с тем, что при пересечении железной дороги, находящейся внизу, устройство подмостей и форм для железобетона влечет за собой ряд неудобств; если сверху проходит проезжая дорога, то, ввиду допускаемых на ней больших подъемов, легче возможно несколько приподнять проектную отметку, чтобы подмости и фермы уместились под путепроводом, допустив временно предельное стеснение габарита сверху и с боков. Изменение отметки железной дороги гораздо затруднительнее; железо и позволяет иногда обойтись без него, путем сборки ферм в стороне и продольной или поперечной их накатки.

Число типов опор и пролетных строений для путепроводов очень велико и мы не будем останавливаться на описании их; укажем только, что все эти типы могут быть сведены в две основные категории: разрезные и неразрезные. Разрезные пролеты чаще всего применяются к железнодорожным мостам, причем опоры их бывают обыкновенно, неподвижными, а неразрезные — к путепроводам, под проезжую дорогу, причем опоры делаются для железобетонных путепроводов, неподвижными, а для железных качающимися и лишь изредка — неподвижными.

Расположение опор при нормальном или не очень остром пересечении понятно само собой; расположение их в случае очень острого пересечения указано в гл. III, отд. 4.

Путепроводы для пересечения проезжей дороги с железной имеют некоторые отличительные особенности; так, если железная дорога проходит поверху, то необходимо не только оградить путепровод сплошным забором*), чтобы не пугались лошади, но и предотвратить у железных путепроводов возможное падение вниз углей, вещей, выбрасываемых или роняемых с поезда и т. д.; с этой целью применяется иногда сплошная проезжая часть (наприм., американская или бетонная) или низ путепровода подшивается железом, толем и т. д. Если по верху проходит проезжая дорога, то необходимо оградить ее сплошным забором; для пешеходных мостиков очень хороши перила, обтянутые проволоочной сеткой.

Б. Эстакады для железной дороги вдоль улицы бывают двух основных типов: низкие и высокие. Низкие эстакады предназначены только для сообщения между двумя частями улицы, расположенными по обе стороны эстакады, т.-е. для пропуска *поперек* эстакады пешеходов и подвод; только при пересечении площадей и поперечных улиц под низкими эстакадами требуется пропуск трамваев. Высокие эстакады рассчитываются на *продольный* пропуск под ними экипажей или трамвайных путей.

*) В случае применения электрической тяги на железной дороге, сплошные заборы излишни.

Таким образом, мы имеем разницу между обоими видами эстакад и в высоте проезда, и в конструкции опор: обязательная высота проезда под низкими эстакадами не превышает 2-х саж., а если иногда делается больше, то лишь в силу особых местных условий, (напр., эстакады в концах крутых уличных спусков, уклон которых гораздо круче допускаемого уклона железной дороги); при этом, длина пролета рассчитывается лишь для движения единичных экипажей, т.-е. может быть в 4—5 саж., из которых полную высоту достаточно иметь на 2—3 саж. Только при пересечении площадей и поперечных улиц, требуется высота проезда не менее 2,2 саж., а лучше—2,5 саж., при длине каждого пролета не менее 6-ти саж. (иногда может быть и 5 саж.); полная высота должна иметь место под всей длиной промена 10—12 саж. Опоры у низких эстакад могут быть лета, общая длина пролета на пересечении должна быть не какого-угодно типа.

Для высоких эстакад исходными точками задания служат опоры; они обязательно должны быть сквозными и высота трамвайного продольного проезда под опорами должна быть не менее 2,2 саж. Очевидно, что эта высота является минимальной и для проезда.

Из сказанного с совершенной ясностью вытекают и конструктивные особенности каждого типа: низкие эстакады могут быть арочного и балочного типа, железные или железобетонные, на опорах железных, железобетонных и каменных; если на разных участках высота эстакады резко меняется, то и конструкции на них можно применять различные. Железобетонные эстакады лучше железных тем, что имеют сплошную проезжую часть и шум от прохода поездов по ним меньше; помимо того, архитектурная обработка легче. Однако, при пересечении площадей и улиц, для уменьшения высоты проезжей части и увеличения пролета, предпочтительнее всего железные балочные фермы. В том случае, когда последние применяются для всей низкой эстакады, очень удобна консольная система, при которой высота ферм логически увеличивается к опорам и очертания фермы приближается к более изящному арочному (чертеж 66, эстакада Берлинского метрополитена).

Для высоких эстакад наиболее подходящими можно считать железные балочные фермы на железных-же сквозных опорах; только при возможности сильно поднять эстакаду для нее можно применить железобетонную конструкцию.

При железных фермах эстакады всех типов должны иметь внизу подшивку, если нет сплошной проезжей части; сплошные заборы вдоль проезжей части устраиваются всегда, если только по эстакаде не ходят поезда с электрической тягой.

Так как железные фермы на высоких и низких эстакадах применяются исключительно с целью уменьшения высоты, то езда на них устраивается почти всегда по середине, с использованием нижнего уступа габарита, как допускающего минимум высоты при минимуме раздвижке ферм.

В. Эстакады взамен дорогих участков насыпи устраиваются: а) когда желательно сузить до пределов ширину отчуждения, в виду его дороговизны; б) при большой высоте насыпи, вызываемой пересечением широких и глубоких догов, речных долин и т. д. в) при невысоких насыпях, пересекающих озера, отмельные морские заливы, покрытые водой очень длинные болота и т. д.

В первом случае, чаще применяется насыпь, поддерживаемая подпорными стенками и эстакада встречается лишь там, где она оказывается дешевле. Во втором случае, как уже сказано на страницах 108—109, очень часто наиболее рациональным решением оказывается постройка временной эстакады, с последующей ее засыпкой; но если хороший камень имеется поблизости постройки и подвозка хорошего грунта для засыпки во время эксплуатации почему-либо ожидается очень дорогой и затруднительной, то постройка постоянной эстакады может оказаться наилучшим решением. Главнейшее условие в пользу его — это дешевизна устройства основания под опоры эстакады; если это условие не имеет места, то почти всегда временная эстакада, с ее простым свайным основанием, окажется более выгодной.

Эстакады, наиболее подходящие для этого случая — арочные каменные (бетонные). Висотой здесь стесняться не приходится, а потому наиболее экономичные и красивые полуциркулярные арки могут иметь широкое применение. Железобетонные арки имеет смысл применять только при большой дороговизне камня или для увеличения пролета. Впрочем, для последней цели иногда бывает достаточным частичное армирование толстых бетонных сводов.

В отдельных случаях, грунт в наиболее пониженной части пересекаемого оврага может оказаться столь плохим, что будет выгоднее перекрыть данный участок особо-большим пролетом (или несколькими), применяя для него (или для них) железные балочные фермы или железобетонные, пологие арки.

Совершенно своеобразный тип постоянных эстакад представляют собою низкие эстакады через длинные, многоверстные, участки, покрытые водой. Если их делать временного типа, то последующая засыпка землей потребует огромных денег, особенно при наличии волнения, т. е. тогда необходимо укреплять насыпь или делать ее из каменной наброски. Если применить постоянный тип на каменных, железобетонных или железных опорах, то стоимость последних будет колоссальна, особенно имея в виду, что малая высота требует частого расположения опор. В результате этих двух поло-

жений, наиболее подходящей конструкцией даже для постоянных эстакад оказывается деревянная, но с применением тех мер, которые указаны в примечании к стр. 109, т.-е. с надежной защитой от пожара и с употреблением пропитанного леса. В тех местах (пересечения морских отмелей), где дерево может подвергнуться нападению шапши и иных древоточцев, обязательно креозотирование свай; в пресной воде сваи могут не пропитаться только тогда, когда головы их срезаны ниже самого низкого горизонта воды, что сильно усложняет конструкцию.

Лишь в отдельных случаях для очень длинных, низких эстакад может оказаться достаточно экономичным применение железобетонных свай, с железобетонными же опорами и пролетным строением.

В эстакадах описываемой категории может потребоваться устройство более значительных пролетов, напр., при пересечении глубоких мест, для пропуска судов и т. д.; эти пролеты перекрываются по типу постоянных мостов, чаще всего — железными, балочными фермами на каменных опорах *), с ездой по низу или по середине.

Г. Эстакады взамен высоких насыпей с ненадежным основанием, применяются довольно редко, а именно там, где линия проходит по косогору, верхние слои которого угрожают сползанием по нижним, или пересекает глубокую низину с плохим грунтом на дне ее, при очень большой высоте насыпи. В этих случаях основательное дренирование или срезка верхнего слоя грунта могут стоить так дорого, что выгоднее окажется заменить насыпь эстакадой.

В большинстве случаев, для последней оказывается наиболее подходящим арочный тип, при бетонной или железобетонной конструкции; но иногда стоимость устройства опор может оказаться настолько высокой, что выгоднее применить балочную систему железных ферм большого пролета.

Как уже указано в „Деформациях земляного полотна“ (стр. 22), выбор между насыпью на ненадежном основании и эстакадой решается преимущественно по экономическим соображениям, требующим большой осторожности; ввиду очень высокой стоимости обеих видов сооружений при данных условиях.

8. Железные и железобетонные балочные мосты обыкновенного типа, на опорах каменных или железобетонных.

А. Пролетное строение.

Сюда относятся наиболее обширная группа балочных мостов самого разнообразного отверстия и пролета, служащих для пропуска воды под насыпью; к ним должны быть при-

*) Наиболее подходящими здесь оказываются цилиндрические опоры (из двух цилиндров), вкратце описанные на стр. 124—125.

числены и те мосты или путепроводы, которые пропускают дорогу над или под полотном в один пролет; что-же касается до мостов для пропуска дорог в несколько пролетов, то по своей конструкции они могут относиться или к данной группе мостов, или к группе мостов эстакадных.

До недавнего времени железные балочные мосты на каменных опорах были наиболее распространенным типом в железнодорожном строительстве; это объясняется возможностью применять их при самой разнообразной высоте и отверстии, а также большой простотой работы, благодаря отсутствию сводов и прямолинейности очертаний. Но железные мосты обладают и рядом дефектов, которые ставят их в очень невыгодное положение по сравнению с трубами и, частью, с железобетонными мостами, причем эти дефекты сказываются, обычно, уже во время эксплуатации; к последним относятся: отсутствие непрерывности верхнего строения, неравномерная осадка, возможность застоя воды в наиболее часто встречающемся типе устоев с обратными стенками („шпанами“) и необходимость периодического ремонта (особенно окраски). Помимо того, всякие мосты требуют очень тщательной разбивки в плане и очень точного возведения по отметке, что несколько умаляет достоинства их, как сооружений несложных. Опыт многих лет эксплуатации в самых различных странах, заставил обратить серьезное внимание на вышеуказанные дефекты и прибегнуть к различного рода мерам для уменьшения их. Первый дефект—отсутствие непрерывности пути—легко избегается путем применения железобетонного пролетного строения. Разумеется, и при железных фермах возможно обеспечить указанную непрерывность, прибегая к бетонной, железобетонной или сплошной железной (американской) проезжей части; но этот способ значительно увеличивает действующие на мост усилия и, потому, оказывается дорогим не только сам по себе, но и как вызывающий необходимость усиления ферм; поэтому, применение сплошной проезжей части в железных мостах крайне ограничено и основной целью чаще всего встречаемой американской проезжей части служит уменьшение высоты фермы под рельсами, а непрерывность пути достигается лишь попутно.

Второй дефект—неравномерная осадка—не может быть избегнут ни при каких системах мостов; действительно, из чего-бы мост построен ни был, он не должен давать осадки и отметка головки рельса из нем неизбежна; в насыпи-же, подходящей к мосту, осадка неизбежна и во многих случаях происходит в течение целых лет и даже десятков лет, в зависимости от высоты, качества грунта самой насыпи и качества грунта ее основания. Немудрено, что толчки у мостов представляют собой самое распространенное явление, вредно влияющее не только на качество пути, но и на подвижной состав, да и на самый мост.

Третий дефект—застой воды в устоях—может быть парализован или применением другого типа устоев, или устройством хорошего дренажа. Для мостов малой и средней высоты, тип устоев с обратными стенками оказывается наивыгоднейшим, почему его редко заменяют типом с откосными крыльями, хотя последний более рационален с точки зрения постепенного сжатия струй при подходе к сооружению и не задерживает воду в насыпи. Устройство дренажа в том виде, как его обычно делают (черт. 67), не может считаться особенно обеспечивающим устой от застоя воды за ним и от появления трещин между телом устоя и обратными стенками. Правильнее было бы дополнять указанный тип еще одним или несколькими отверстиями в низовых обратных стенках близ сопряжения их с телом устоя, причем в отверстия должны вставляться трубы, отводящие воду от наружной поверхности устоя.

Железобетонные мосты свободны от двух крупнейших недостатков железных, а именно—от их несовершенной проезжей части и от необходимости в периодической окраске. Кроме того, железобетонная ферма не требует привоза издалека таких больших количеств материалов, как железная, потому что щебень и песок, если и не могут быть добыты непосредственно близ места работ, то, всё-же, подвозка их не столь далека, как подвозка железа, да и более удобна. Зато, железобетонные мосты имеют и свой недостаток, в виде необходимости очень тщательного надзора за производством работ. Этого иногда бывает возможным избегать, заготовляя заводским путем фермы небольшого отверстия, но в таком случае доставка на место становится неудобной, ввиду большой тяжести ферм или частей их; если нельзя воспользоваться грузовыми автомобилями или железной дорогой, то возможность подвозки целых ферм весьма ограничена. Вообще говоря, в целом виде могут изготовляться фермы пролетом 1—3 метра; при отверстии от 4 до 6 метров включительно приходится во всяком случае разрезать ферму на отдельные продольные балки, в числе 2—4, и эти разрезанные части, изготовленные на заводе, собирать на месте, соединяя железными скобами и заливая цементом.

Всё вышеизложенное подтверждает сказанное выше о преимуществах труб различного типа перед мостами; тем не менее, последние всегда будут иметь очень широкое распространение, благодаря наличию целой массы случаев, когда труба неприменима, то в виду ограниченности ее отверстия, то в виду несоответствия требуемой ею минимальной высоты при данном расходе воды с действительной, то, наконец, в силу местных условий, к которым относится расположение сооружения в зоне осадков, наличие некоторых особенностей в напластовании грунтов и т. д.

Что касается до выбора между железными и железобетонными мостами, то последние решительно должны быть

предпочитаемы для малых отверстий (примерно, до 5 саж. включительно), тогда как отверстия большого пролета удобнее перекрывать железными фермами. Железо приходится предпочитать и там, где почему-либо требуется очень малая высота фермы, там, где требуется очень быстрая установка пролетного строения, а также при замене деревянных мостов, в виду большей легкости и простоты при надвигке; последнее, впрочем, касается только до отверстий свыше 2 саж.

Железные мосты должны быть решительно избегаемы там, где их прерывистая проезжая часть может вызвать крушение с особо серьезными последствиями. Сюда относятся мосты в конце затяжных спусков на высоких насыпях; тип подобного моста, отверстием 7—15 саж., у нас чрезвычайно распространен, но он представляет прямую опасность движению, так как скорость на спуске приобретает очень значительная и вероятность схода с рельсов именно на мосту чрезвычайно велика; результаты этого схода всегда очень серьезны, в некоторых случаях до сильного разрушения самого моста, так что перерыв в движении длителен и восстановление очень затруднительно.*).

Между тем, именно в указанном случае с успехом могут быть применены трубы большого отверстия, так как, обыкновенно, в глубоких логах, перекрываемых мостами отверстием 7—15 саж., воды бывает немного; опыт показал, что мост отв. 10 саж. легко заменяется двойной трубой отв. $2 \times 2,5$ саж., или даже 2×2 саж.; подобная труба может быть без затруднения возведена под существующим мостом и потому позволяет удобную замену таких опасных сооружений, которых на наших дорогах весьма достаточно. При постройке же вновь, строителю предоставляется выбор между каменной трубой, железобетонным балочным мостом и арочным мостом из различного материала; правда, зачастую потребуется устройство промежуточных опор, обойтись без которых можно было бы при железном мосту, но последний настолько неудобен в данном случае, что с наличием лишней опоры приходится мириться.

Б. Опоры.

Устои железных и железобетонных мостов бывают, как известно, четырех типов: с обратными стенками, бывают, как известно, четырех типов: с обратными стенками, с откосными крыльями, с арками и обсыпные; помимо того, для мостов с ездой по низу, применяются Т-образные

*) Разительным примером сказанного служит крушение поезда на Симбирской линии М.-Каз. ж. д. 22 февраля 1917 г., когда тяжелыми американскими вагонами были совершенно разрушены проезжая часть, верхние горизонтальные и вертикальные ветровые связи моста отв. 10 саж. с ездой по верху, а верхний пояс — выпучен.

опоры, представляющие собою вариант опор с обратными стенками или с арками; для очень больших высот за границей применяется еще тип пустотелых устоев.

Помимо этих общепринятых типов, следует упомянуть о появившихся недавно в Америке консольных устоях (черт. 68). В них тело устоя сужено по сравнению с обычно применяемой шириной, а для поддержания балласта над устоем вложено железобетонное корыто. В России этот тип был предложен несколько лет тому назад инж. Передерием, но практически еще не применялся, да и в Америке его распространение очень ограничено. Применение консольных устоев зависит только от экономических соображений; в дальнейшем, в виду малой распространенности этого типа, мы не будем к нему возвращаться.

Как уже сказано выше, для устоев малой и средней высоты чаще всего применяется тип с обратными стенками (черт. 69а), как более дешевый; но в смысле лучших условий протекания воды и лучшего отвода грунтовых вод за устоями, ему безусловно следует предпочесть тип с откосными крыльями (черт. 69б), в России почти вышедший из употребления; зато, для будущей пристройки второго пути, устои с откосными крыльями весьма неудобны и в этом отношении тип с обратными стенками много лучше.

Одним из преимуществ типа с откосными крыльями является большое удобство его при замене деревянных мостов, так как крылья находятся вне рядов свай; поэтому, некоторые американские дороги (напр. Atchison, Topeka and Santa Fé) применяют для вновь строящихся линий устои с обратными стенками, а для замены деревянных на существующих линиях — с откосными крыльями. Раструб откосным крыльям (т. е. угол наклона их к лицевой грани моста) делается в $20-30^{\circ}$, но для пропуска железных или проезжих дорог раструба можно вовсе не делать (черт. 69в); можно его не делать и с низовой стороны моста, пропускающего воду, по аналогии с трубами.

Для мостов средней высоты, в обществе Московско-Виндаво-Рыбинской ж. д. был выработан еще тип с обратными стенками и с наклонной передней гранью (черт. 69г); этот тип широкого распространения не получил, благодаря как необходимости несколько увеличивать пролет фермы из-за стеснения отверстия наклонными стенками, так и трудности исполнения облицовки; последнее неудобство, впрочем, избегается, если применяется железобетонная облицовка или если сам устой делается бетонным. В смысле же экономии кладки, тип с наклонной передней гранью вполне хорош.

^{*)} Всё, сказанное ниже об устоях, быках и подферменных камнях, относится, разумеется, к каменным опорам для мостов самого разнообразного назначения и типа, при любом материале пролетного строения.

Для высоких устоев наиболее красивый тип — со сквозными арками (черт. 70а); в последнее время арки стали делать не сквозными, а продольную стенку, прежде возвышавшуюся на 0,25 — 0,50 саж. выше самого высокого горизонта воды, доводить до верха свода. Эта конструкция, примененная с целью разгрузить свод от давления поезда, не выдерживает критики ни в каком отношении, не достигая своей прямой цели и лишая мост того красивого вида, который ему придает сквозная арка. Арка, во всяком случае, представляет собой слабое место моста, благодаря возможности просачивания в нее воды с полотна; во избежание этого арку необходимо сверху асфальтировать, а также покрывать асфальтом и верхнюю поверхность устоя (применяемое иногда покрытие свинцом очень дорого).

Как дальнейшее развитие арочного типа устоя, может рассматриваться пустотелый устой, в России почти не встречающийся; пример такого устоя на одной из Американских дорог показан на черт. 70б.

Обышной устой представляет собой наиболее дешевый тип, благодаря меньшему объему кладки и почти полному отсутствию облицовки, но он требует значительного увеличения отверстия и некрасив. Несравненно красивее каменный обычной устой с быком (черт. 70в), по существу представляющий собой дальнейшее развитие типа арочного устоя, в котором маленький пролет арки заменен большим пролетом, перекрытым балочной фермой. Выбор того или иного типа диктуется экономическими соображениями, но при больших пролетах на выбор типа устоя существенно влияют и технические соображения. Действительно, при значительном пролете давление на переднюю часть устоя настолько велико, что распределение усилий в теле устоя и на его подошве будет крайне неравномерным, если устой представляет собой единое целое. Поэтому, фермы пролетом свыше 20 саж. обычно поддерживаются *раздельными* устоями, в которых передняя часть отделена от задней, так что обе они дают независимую осадку и основываются, чаще всего, на различных системах основания. При не очень большой высоте указанное разделение достигается простым сквозным вертикальным швом, идущим от верха кордона до подошвы фундамента, а при значительной высоте чаще всего применяется тип обышного устоя с быком; на последний опирается главная ферма, а пролет между быком и устоем (т. наз. береговой пролет) перекрывается добавочной фермой.

Быки на мостах малого пролета чаще всего встречаются при устройстве длинных эстакад, но, конечно, не так редки и случаи, когда удобнее подразделить даже сравнительно небольшое отверстие на несколько пролетов.

Все быки могут быть сведены к четырем основным категориям: быки не затопляемые водой, быки затопляемые, бы-

ки подверженные действию сильного ледохода и быки для поворотных пролетов.

Форма в плане незатопляемых быков диктуется лишь соображениями экономического и эстетического характера; чаще всего применяется прямоугольное очертание (при комосту — параллелограмное) или прямоугольное с закругленными концами; уклон всем боковым граням дается в $1/30$ — $1/24$; за границей, особенно в Англии и Америке, широко распространены быки цилиндрические, состоящие из двух цилиндров, взаимно связанных поперечными связями (черт. 71-а и б); цилиндрические быки основываются на опускных колодцах, служащих непосредственным продолжением оболочки быка (см. ниже). Стенки делаются вертикальными.

Если бык затапляется водой, то необходимо придать ему такую форму в плане, которая способствовала бы наиболее правильному обтеканию быка струями воды. Французские опыты Крэзи показали, что наивыгоднейшая форма в этом отношении — эллиптическая (черт. 72-а); но трудность выполнения заставляет искать более простых форм, из которых наилучшими являются форма с оконечностями (волнорезами), очерченными взаимно-пересекающимися четвертями круга, радиусом равным толщине быка (черт. 72-б) или форма с оконечностями в виде равнобедренного треугольника (черт. 72-в). Цилиндрические быки, хотя и не представляют собой выгодного для пропуска воды очертания, но в Америке и Англии применяются весьма часто и при пересечении водотоков, благодаря удобному устройству их оснований и дешевизне; кстати сказать, во избежание очень глубокого опускания цилиндра, внутрь его очень часто забивается куст свай (черт. 71-а).

Боковой уклон граням затопляемых быков придается такой же, как незатопляемых.

При наличии не очень сильного ледохода, как это обычно и бывает на небольших мостах, вполне возможно применение быков типов, изображенных на черт. 72 б и в, причем особенное внимание, конечно, должно быть обращено на прочную облицовку верхового волнореза, который тут служит ледорезом. При сильном ледоходе, верховой голове быков придается очень большой уклон в пределах горизонта ледохода, чтобы большие льдины могли вздыматься на наклонную голову быка и там переламываться, не допуская этим образования ледяного затора. Типов наклонных ледорезов существует несколько, но здесь мы не будем их касаться, так как применение их имеет место лишь на мостах через большие реки, здесь не рассматриваемых.

Точно также, мы не будем останавливаться и на быках под поворотные пролеты, которых так боятся в России и которые так распространены за границей. Эти быки отличаются тем, что форма в плане им придается совершенно опре-

деленная, несмотря на характер течения, а именно — круглая, реже восьмиугольная; иногда с верховой стороны устраивается небольшой выступ (нос). В случае наличия ледореза, с верховой стороны быка ставится отдельный деревянный ледорез, хотя возможно и устройство каменного наклонного ледореза, соединенного с быком.

Материалом для устоев и быков у нас почти исключительно служит бут, облицованный чаще всего грубым кирпичом, с углами в рамку; впрочем, в последнее время стала входить в употребление железобетонная облицовка, причем углы и при ней чаще всего делаются из штучных камней; опоры путепроводов и больших мостов часто облицовываются сплошь в рамку, что, хотя красиво, но очень дорого; ледорезы наклонного типа почти всегда облицовываются гранитом чистой тески. В Америке, где рабочие руки очень дороги, хороший камень далеко не всегда встречается, а цемент дешев, бут совершенно вытеснен бетоном; последний позволяет очень быстрое возведение кладки, но, естественно, требует возможно упрощенных очертаний для удобства набивки. Наружные стены, как подверженные действию мороза, армируются (черт. 73). Штучную облицовку в Америке иногда применяют и на бетонных устоях, но чаще всего — на ледорезах, где твердый камень облицовки много надежнее армированного бетона; впрочем, встречаются ледорезы и с железной или рельсовой защитой (черт. 74-а и б). Цилиндрические быки, широко распространенные в Англии и Америке в применении к эстакадам и путепроводам, делаются бетонными с железной (черт. 71-а) или железобетонной (черт. 71-б) обшивкой.

Железобетон для устройства опор применяется сравнительно редко, так как устойчивость последних лучше всего обеспечивается их массивностью; для массивной же опоры бут или бетон вполне подходящ. Поэтому, железобетон рационально может применяться лишь там, где опрокидывающее усилие сравнительно невелико или там, где конструкция устоя обеспечивает устойчивость. Сюда относятся, прежде всего, быки большой площади, несущие на себе фермы большого пролета и могущие делаться пустотелыми (черт. 75).

Для устоев железобетон выгоднее всего при обсыпном типе, хотя иногда встречается и при типе и откосными крыльями. Соответственные типы американских железобетонных устоев показаны на черт. 76 а и б, из которых видно, что обсыпной устой состоит из двух колонн, взаимно соединенных поперечными связями или тонкой сплошной стенкой. Что же касается до устоя с откосными крыльями, то при значительной высоте его, площадка, загружаемая землей и обеспечивающая устойчивость устоя, должна была бы получить чрезмерно большие размеры; этим и объясняется ограниченность применения такого типа.

Кирпич для кладки стен устоев раньше иногда применялся, но теперь применяется только для облицовки путепроводов, так как в пределах водного горизонта он плохо выдерживает сырость.

И кирпич, и бетон у нас имеют довольно широкое применение при кладке арок в арочных устоях и их, во всяком случае, следует здесь предпочитать буту из тех-же соображений, как и в трубах; кирпич должен применяться только в виде кольцевой (английской) кладки.

Подферменные камни для железных мостов в настоящее время часто делаются искусственными, что весьма рационально, ввиду трудности добыть хорошие подферменники из естественного камня и их дороговизны.

Искусственные подферменные камни бывают двух типов—русского и американского; для русского типа (черт. 77) применяется железобетон и камни этого типа ничем не отличаются от всяких других железобетонных конструкций, тогда как американский тип (черт. 78) представляет собой два взаимно-перпендикулярных слоя двутавров (могущих быть замененными рельсами), залитых бетоном и втопленных в подферменную площадку*); собственно говоря, всю работу несут двутавры и бетон только защищает их от ржавчины.

Вследствие этой особенности американский тип предпочтительнее, так как в подферменных камнях сравнительно сильно чувствуются удары подвижного состава, плохо выносимые железобетоном; если в американском типе бетон растрескается или обвалится, то его только и стоит заменить новым, тогда как в русском типе приходится менять все подферменники, что сопряжено с большими неудобствами для движения.

9. Каменные и железобетонные арочные мосты.

Арочные мосты из камня, бетона или железобетона имеют перед железными балочными и арочными мостами преимущество непрерывности пути и малой потребности в ремонте; помимо того, арочные мосты несравненно красивее балочных.

Всё изложенное способствует широкому распространению арочных мостов в западной и особенно, южной Европе, тем более, что материал для них (камень, песок) там находится в изобилии. У нас же распространение арочных мостов весьма ограничено; это объясняется отчасти тщательностью надзора, который требуется при возведении и раскружаливании их, необходимостью хорошего основания, но, особенно, климатическими условиями. В средней и восточной России годовые колебания температуры доходят до 70—80°

*) Кстати сказать, и гранитные подферменники в Америке очень часто втапливаются в тело устоя.

и даже в течении трех-четырех суток, когда зимние оттепели чередуются с жестокими морозами, эти колебания могут достигать 25—30°. Балочному мосту эти колебания особенно не вредят, благодаря тому, что он свободно удлиняется и укорачивается, продвигаясь по опорам; иначе обстоит дело с арочным мостом. Чтобы температурные колебания не вызывали дополнительных напряжений в своде, необходимо иметь шарниры в пятах и ключе, но трехшарнирные арки, деформируясь, заставляют вместе с собой деформироваться и путь, почему они недопустимы при значительных отверстиях мостов под железные дороги. При малых-же отверстиях проще обойтись вовсе без шарниров, соответственно усилив арку и допустив в ней неопасные дополнительные температурные напряжения. Опыт показывает, что для средней России (к северу от параллели Харькова) и Сибири подобные безопасные напряжения в полукруглых бесшарнирных каменных и бетонных арках могут иметь место, если пролет их не выше 6—8 сажен; при больших отверстиях в арке появляются радиальные трещины в швах перелома, образующие как-бы естественные шарниры. Пролет пологих сводов, особенно при армировании в растягиваемых частях может доводиться до 17 сажен, равно как и пролет железобетонных сводов. При всех расчетах необходимо принимать колебание температуры в 50% предельного.

Относительно материала для арочных мостов следует сказать, что наиболее выгодным является бетон, который в своде может быть заменен железобетоном, а в опорах — бутом. Кирпич пригоден лишь для сводов малого пролета (не выше 3 саж.), если его класть кольцами; при больших пролетах необходима перевязка швов, а для такой кладки нужны очень опытные каменщики; во избежание ослабления кирпича притеской, предпочтительнее декальный кирпич, изготовленный по специальному заказу. Бут для свода пригоден при очень хорошем качестве камня и усиленном надзоре за кладкой.

Из какого-бы материала ни был выведен арочный мост, необходимо принять все меры против проникания грунтовых вод в арку, для чего верхняя поверхность забутки должна иметь хороший сток, а сама арка и верх забутки — быть асфальтированными. Труднее всего отвод воды при многопролетных мостах; устраиваемые обычно выпуски в сторону лицевой поверхности моста недостаточны и их необходимо дополнять еще одним — двумя выпусками в сторону пролетов, устраиваемыми либо в арке, либо в опорах, причем от пят забутки к выпускам идет вертикальный канал.

На основании вышеизложенного можно сказать, что арочные мосты с бетонными железобетонными, бутовыми и кирпичными сводами могут применяться всюду, где не требуется особо спешной работы, где недалеко находится камень или иной подходящий материал, где технический над-

зор тщателен, где, наконец, высота моста и отверстие его при данных допустимых пролетах позволяет с успехом применить арку пологую или полуциркульную. В отношении эстетическом, арочные мосты особенно красивы при большой высоте и тогда же они наиболее экономичны.

10. Поперечные лотки. Сифоны и дюнеры.

Там, где требуется пропустить очень малое количество воды под очень низкою насыпью, трубы значительного отверстия не помещаются, трубы малого отверстия — недопустимы из-за возможности засорения, а мосты — неэкономичны. В этих-то случаях и прибегают к устройству *поперечных лотков*.

Простейшая конструкция последних — деревянная, при чем она варьируется в нескольких типах. Наиболее дешевый тип делается из пластин, забираемых за стойки (черт. 79), и может иметь высоту не выше 0,40 саж. от дна до подошвы рельса, при отверстии не выше 0,30 саж.; более прочный тип (черт. 80) устраивается на сваях и имеет высоту до 0,75 саж.; наконец, наиболее совершенный тип (черт. 81 а) состоит из прикрепленных к стойкам брусьев, уложенных друг на друга и скрепленных шпонками и болтами; брусчатые лотки имеют высоту до 1 саж. и могут делаться *двойными* с брусчатым же бычком по середине (черт. 81 б). Отверстие свайных и одиночных брусчатых лотков может делаться до 0,50 саж., но лучше ограничиваться отверстием 0,30—0,40 саж.

При высоте свыше 0,50—0,60 саж. верхняя часть лотка, выше горизонта подпорной воды, должна расшиваться деревянными крестами. Вход в лотки всех типов лучше всего делать *раструбным* (черт. 82), а выход — *коридорным*; впрочем, в виду малости отверстия, вполне допустим и *раструбный* выход.

Деревянные лотки очень дешевы, а типы первый и третий незаменимы для устройства дополнительных отверстий в полотне, так как лотки могут собираться в стороне и вдвигаться на заранее приготовленное место с ничтожной продолжительностью перерыва движения.

Недостаток деревянных лотков, как и всяких деревянных сооружений, заключается в недолговечности, особенно при отсутствии постоянно протекающей воды. Поэтому, упомянутые простые и дешевые типы иногда заменяются более дорогими, но зато долговечными лотками — *каменными* и *железобетонными*. Каменные лотки представляет собой нечто иное, как мостик очень малого пролета (до 1 метра), перекрытый деревянными брусьями, железобетонными плитами, или рельсами, втиснутыми в бетон (черт. 83 а); впрочем, рельсы могут укладываться сплошным слоем без заливки бетоном, с засыпкой балластом (черт. 83 б). Железобетонные

лотки . могут быть различного типа, но проще всего делать их под путем, т.-е. в пределах балластного слоя, по образцу железобетонной трубы прямоугольного сечения, а по концам и на станционных междопутях—без постоянного горизонтального покрытия, в виде двух железобетонных подиорных стенок на общем фундаменте. Подобная конструкция придается лотку для удобства очистки. Аналогичным образом следует поступать при устройстве каменных лотков, т.-е. устраивать покрытия из железобетонных или рельсовых плит только под самым путем, а в остальных местах ограничиваться покрытием из легко снимаемых деревянных досок.

Изредка на железных дорогах встречаются искусственные сооружения, неправильно называемые у нас *сифонами*; они служат для пропуска поперек выемки какого-либо водотока, так что вход и выход лежат значительно выше части сооружения, проходящей под полотном. Подобная конструкция в гидротехнике называется *дюкером* и это есть правильное название для описываемых сооружений, так как под сифоном подразумевается сооружение, вход и выход которого ниже, чем середина; такое устройство встречается иногда в гидротехнике, может встретиться и при постройке железной дороги (взамен насосов для водоотлива или для временного пропуска воды поверх насыпи), но как постоянное искусственное сооружение для пропуска воды через полотно железной дороги не применяется совершенно.

Дюкер может работать только в том случае, если вода идет по нему полным сечением; это представляет собой известную опасность, так как под путем вода находится под довольно значительным давлением, соответствующим разности высот воды у входа и под полотном, так что в случае повреждения сооружения путь будет неминуемо размыт. Простейшая конструкция дюкера—круглая труба, чугунная или железобетонная, с надежно защищенными стыками; приемный и выходной колодцы делаются чаще всего из камня или бетона (черт. 84). Если количество пропускаемой воды невелико, то лучше всего применять такую-же конструкцию, как для водопроводных труб, при пересечении их железной дорогой, т.-е. заключить небольшую трубу дюкера в большой кожух, чугунный, железобетонный или каменный (черт. 85), защищающий путь от повреждения в случае разрыва дюкерной трубы или расхождения стыков; на случай ремонта, как и в водопроводных трубах, у входа нужно иметь задвижку. Когда количество протекающей воды настолько велико, что отверстие дюкерной трубы весьма значительно, и устройство кожуха было бы затруднительным, следует путь над дюкером укладывать на продольные балки (железные или деревянные), подпертые какими-либо опорами по концам, на случай разрыва дюкерной трубы.

Всё изложенное заставляет прибегать к устройству дюкеров лишь в случае крайней необходимости, а именно, когда отвод воды, помощью канавы очень дорог, и особенно, когда необходимо пропустить поперек выемки воду из оросительных канав. В последнем случае, поневоле приходится прибегнуть к помощи дюкера, и только тогда, когда рядом с пропускаемым водотоком устраивается путепровод, имеет смысл пропустить воду поверх выемки путем использования опор путепровода для укладки водопропуска (акведука); однако, пропуск воды поверх выемки в нашем климате затрудняется возможностью промерзания; а потом, раз подобный способ принят, то в случае постоянно протекающей воды, акведук должен быть надлежащим образом утеплен. Пример устройства акведука показан на черт. 86.

ГЛАВА VI.

Дефекты работ и материала.

1. *Железо.* Если бы в выполнении и расчете железных и других металлических конструкций встретились сколь-нибудь значительные дефекты, то они повлекли бы за собой самые катастрофические последствия, ибо металл употребляется в сооружениях для очень ответственных частей, имеющие рассчитанные точно размеры. Но те тщательные испытания, которым металл подвергается и на заводе, и по установке на место, служат достаточной гарантией против всякого рода качественных недостатков и если последние встречаются, то лишь всегда второстепенного характера, так что могут быть легко исправлены, как только будут замечены (главным образом, в заклепочных соединениях); к проверке этих малых дефектов путем осмотра и обстукивания отдельных заклепок, собственно говоря, и сводится весь надзор за ними.

Что касается до чрезмерных напряжений в металлических частях, то у нас мосты проектируются всегда со столь значительным запасом, что только чисто арифметические ошибки могут повлечь за собой излишние напряжения; такие же случаи, как крушение мостов неиспытанных систем, у нас вряд ли могут иметь место. В России чрезмерных напряжений можно ожидать лишь на очень старых мостах, где произошли изменения в микроструктуре металла. Помимо того, перенапряжение может иметь место и при сборке без подмостей, когда распределение действующих усилий совершенно иное, чем в собранной ферме; очень характерным примером этому служат две катастрофы при сборке Квебекского моста через реку Св. Лаврентия (в Канаде).

2. *Дерево.* Употребляемое в постройку дерево, при некоторой добросовестности, всегда можно выбрать достаточно

хорошим, так как внешних признаков для этого весьма достаточно; точно также, достаточно очень небольшой наблюдательности, чтобы заметить ошибки и неряшливость во врубках. Благодаря этому, дерево, употребляемое в сооружениях, на первое время может считаться вполне надежным, но как долго такая надежность продлится—сказать невозможно. Самые условия рубки дерева, его сорт, способ перевозки и хранения—всё это крайне влияет на долговечность, а разнообразие местных условий делает последнюю еще менее достоверной. Если еще дерево пропитано хлористым цинком, креозотом и т. п., то срок его службы определить можно, но для непропитанного дерева приходится делать ежегодную и, притом, тщательную проверку как наружным осмотром, так и выстукиванием с обязательным открытием на глубину около аршина погруженных в землю частей. В зависимости от результатов осмотра, деревянные части меняются более или менее часто и с этим приходится неизбежно считаться при определении эксплуатационных расходов. Так как осмотр открытых частей и находящихся немного ниже уровня земли трудности не представляет*), то опасаться внезапного разрушения деревянного сооружения не приходится. В ином положении находятся деревянные сваи под каменным фундаментом; добраться до таких свай очень трудно, а иногда прямо невозможно, и гниение их может вызвать настоящую катастрофу. Обычно предполагается, что сваи под фундаментом находятся целиком ниже уровня грунтовых или поверхностных вод, а потому гнить и не могут, раз только еще не содержат в себе элементов уже начавшегося гниения. Но ведь могут быть случаи, что горизонт воды понизится и тогда все наши расчеты окажутся неправильными. Поэтому, надо взять за правило, что там, где понижение воды возможно, необходимо или опускать головы свай на достаточную глубину, или заменять их железобетонными. Подобные случаи могут иметь место: а) в городах, где устройство водосточков сильно понижает грунтовые воды; б) при пересечении с железной дорогой, где последняя может принять меры для осушения полотна; в) на болотах, где могут быть прорыты осушительные канавы; г) на местах, обильных ключами, где каптаж последних может делаться как для обеспечения устойчивости полотна, так и в целях водоснабжения.

Насколько в каждом данном случае можно ожидать понижения горизонта—сказать, конечно, невозможно и всякий раз приходится учитывать местные условия. Вообще же, надо принять за правило, что головы свай должны срезаться минимум на 0,25 саж. ниже самого низкого горизонта грунтовой или верховой воды.

*) Исключение составляют фермы системы Лемке, где до некоторых деревянных частей добраться очень трудно и также трудно их заменять.

Хотя допускаемые напряжения в дереве далеко не так точно определены, как в металле, но, всё-же, благодаря не-пременному запасу прочности, практикуемый у нас способ расчета различных деревянных частей сооружений достаточно обеспечивает их прочность. Исключение составляют только сваи и опоры разных типов, применяемые при устройстве всякого рода подмостей.

Согласно существующим правилам, свайное основание рассчитывается по формуле Брикса, дающей совершенно достаточную прочность, если сваи не подвержены горизонтальному давлению или продольному изгибу; по сравнению с американской формулой Уеллингтона, вполне обеспечивающей прочность основания, формула Брикса дает даже излишний запас *). Но обе формулы предполагают, что свая по всей длине проходит слой грунта, достаточно плотно ее обжимающий и поддерживающий со всех сторон; если же свая проходит через слой очень слабого грунта, то она будет подвергаться продольному изгибу и должна рассчитываться, как стойка, подверженная последнему. Разумеется, небольшой слой существенной роли не играет, но слой толстые и очень слабые (ил, торф) могут повлечь за собой искривление и излом свай, чему примеры неоднократно бывали. Если, вдобавок, на сваи действует значительное горизонтальное усилие, то, конечно, эффект получается еще более резкий. Поэтому, проверка свай, как стоек, обязательна всюду, где они проходят на значительную толщину слабые грунты.

В погоне за прочностью свайного основания, русские инженеры иногда пересаливают и, руководствуясь „министерскими“ правилами об абсолютной предельной нагрузке на сваю, располагают под основанием столь большое число свай, что работа каждой из них будет происходить в неблагоприятных условиях. Каждая свая, при забивке, уплотняет под собой и вокруг себя некоторый объем грунта, имеющий коноидальную форму; максимум уплотнения получается тогда, когда все коноиды касательны между собой. Если-же они пе-

*) Формула Уеллингтона для русских мер:

а) для бабы с большой высотой падения и редкими ударами (подвесной)

$$F = \frac{16,7 \ W \ H}{s + 1,2}$$

б) для паровой бабы с частыми ударами и малой высотой падения

$$F = \frac{16,7 \ W \ H}{s + 0,1}$$

Здесь F — допускаемая безопасная нагрузка в пудах, W — вес бабы в пудах, H — высота падения в саженах, s — отказ в сотках сажени.

Для железобетонных свай, как обладающих значительным собственным весом, американцы применяют формулу Эйтельвейна, учитывающую этот вес и сходную с формулой Брикса.

ресекаются, то полезное действие каждой отдельной сваи ослабляется в ущерб прочности всего основания. Опыт показал, что только в очень слабых грунтах при очень большой нагрузке имеет смысл располагать сваи в расстоянии 0,33 саж. между осями, тогда как в большинстве случаев достаточно 0,40 саж. Поэтому, когда у нас в погоне за сверх-прочностью уменьшают расстояние между сваями до 0,25 саж., то этим допускают грубейшую ошибку, вредно влияющую на прочность основания и вызывающую совершенно бесполезные излишние расходы. Если расчет показывает, что деревянные сваи не выдерживают нагрузки при взаимном расстоянии в 0,33-0,40 саж., то правильнее не сближать их до недопустимого предела, а заменить железобетонными.

Что касается до различных опор, поддерживающих подмости, кружала и т.п. кратковременные сооружения, то они очень часто основываются на плохом грунте без должного уплотнения последнего, что влечет за собой осадку всего временного сооружения, а часто разрушение его. Насколько мало обращается на сказанное внимание, характеризуется одним примером из практики: для моста отв. 10 саж. с обсыпными устоями проект подмостей был составлен в предположении, что крайние сваи окажутся в конусе, обсыпавшем устои; нетрудно понять, какой эффект произведет подобное основание на свежесыпанной глине, если бы его привести в исполнение; естественно, что местный производитель работ от этого утвержденного (!) проекта отказался и на свой страх и риск опёр подмости на подферменные площадки. Могут быть, конечно, случаи, когда очень экономно спроектированные подмости разрушаются от неправильно распределенной нагрузки на них при сборке; но эти случаи сравнительно редки и надзор за правильным распределением материала всегда может их предупредить.

3. *Камень.* Из всех материалов, применяющихся для искусственных сооружений, камень наиболее разнообразен по внешнему виду, крепости и сопротивляемости атмосферным влияниям. Временное сопротивление его раздроблению колеблется от 100 кг/см² для какого-нибудь слабого известняка до 2000 кг/см² для порфира и твердого гранита; однако, благодаря хорошему запасу прочности, благодаря тому, что для расчетов берется среднее качество камня, кроме лишь тех случаев, когда в кладку берется определенно-твердая порода камня, благодаря, наконец, легкости отличить особо-слабые породы камня, недостаточное сопротивление раздроблению очень редко бывает причиной разрушения каменного сооружения; гораздо чаще может служить недостаточное сопротивление растягивающим усилиям, как о том сказано ниже. Но чаще всего сооружение разрушается целиком или с наружной стороны вследствие недостаточного сопротивления некоторых пород камня действию мороза.

Правда, лабораторные опыты устанавливают степень морозоупорности камня, но беда в том, что опыты эти делаются не всегда: они обязательны лишь для проб камня, употребляющегося на очень большие сооружения, для проб облицовки и, наконец, для проб камня из очень больших карьеров. Но бут, добываемый для небольших сооружений из небольших карьеров, сплошь и рядом не испытывается на мороз. Мало того: некоторые породы камня отличаются крайним разнообразием даже в пределах одного и того-же карьера, благодаря слоистости их, так что пробы, взятые из подобного карьера, характерны лишь для одного определенного слоя; обычно, слои вышележащие менее прочны, а ниже лежащие — прочнее. Наконец, не всегда образец характеризует качество даже соответствующего слоя; действительно, некоторые слои очень сильно насыщены водой, которая при морозе разрывает их; между тем, тот-же камень, пролежав летом на открытом воздухе, отдает последнему большую часть своей влаги и тогда становится вполне морозоупорным. Для облицовки существенное значение имеют трещины в камнях, иногда заполненные посторонним веществом; если от таких трещин лопнет отдельный бутовый камень, то беды особой нет, но если лопнет камень облицовочный, то его приходится сменить. Кстати сказать, очень портят облицовку прослойки, заполненные железистой массой, т.-е. они дают буроватые потеки, безобразящие внешний вид облицовки.

Для получения абсолютной гарантии морозоупорности камня, его следует выдержать сперва целое лето и зиму в штабелях, а уже после того принимать и употреблять в дело. Но так как это в большинстве случаев недостижимо, то следует принимать хотя-бы сомнительные сорта камня (известняк, глинистый сланец) не ранее весны, причем выломка должна быть произведена до января. Выломанный во второй половине зимы камень принимать не следует, пока он не подвергнется длительному влиянию морозов, т.-е. пока не вынесет второй зимы. Повторяем, что сказанное относится только к сомнительным породам.

Громадное значение при разработке подобных пород имеет надзор за каменным карьером; всегда нужно сделать хотя-бы осмотр его перед началом разработки, чтобы знать самый характер добываемых пород и отметить те слои, которые разрабатывать вообще не следует.

Рассмотрим в общих чертах главнейшие каменные породы:

а) *Граниты, порфиры и т. д.* Лучшие породы во всех отношениях; исключение составляют некоторые восточно-финляндские граниты (*рапакиви* или *гнилой камень*), благодаря обильному содержанию слюды легко выветривающиеся. Рапакиви отчасти может быть узнан по крупнозернистости и очень большому количеству частиц слюды, при общем красном цвете, но все эти признаки сопровождают очень часто и

вполне хорошие сорта; поэтому, лучше всего обращать внимание на то, не выветрена-ли наружная поверхность камней, сбращаясь легко в дресву от удара, и нет-ли больших скоплений дресвы в районе гранитных камней, обычно лежащих большими глыбами (валунами).

Мелкие гранитные валуны (булыжники) неудобны для кладки своими закругленными очертаниями, почему следует их разбивать на куски хотя-бы с двумя заостренными гранями двумя взаимно-перпендикулярными ударами кувалды.

б) *Песчаники*, хотя довольно разнообразны по сопротивляемости раздроблению, но, в общем, представляют собой одну из лучших пород для кладки и облицовки; плотно сцементированный песчаник (кварцит) не уступает по качествам лучшим гранитам. Осторожнее всего надо относиться к слабо сцементированным песчаникам, обычно представляющим собой верхние карьерные слои; для бута они, пожалуй достаточно хороши, если, конечно, не подвергаются очень большому раздробляющему усилию, но для облицовки негодны, так как плохо держат кромку и от небольших ударов или истирания разрушаются. Отличить подобные песчаники очень легко, так как острые углы без труда обламываются пальцами, а прямые—слабыми ударами молотка; подобные пробы кромок песчаниковой облицовки совершенно необходимы.

Мороз все песчаники выдерживают хорошо.

в) *Известняки* отличаются наибольшим разнообразием пород; лучшие сорта не уступают хорошему песчанику, а худшие—не пригодны ни к какой кладке, ввиду их небольшой сопротивляемости всяким усилиям. Если не столь большое, но, все-же, очень значительное разнообразие встречается у известняковых слоев, залегающих в одном и том-же карьере; так, известные русские карьеры: Путиловский, Мячковский, Тарусский и др. содержат в себе и очень хороший камень, и никуда негодный. Если к этому прибавить, что между отдельными слоями, особенно верхними, часто попадаются землистые прослойки, составляющие как-бы кору отдельных камней, то станет ясным, что к известнякам, употребляемым в кладку, следует относиться очень осторожно. Разумеется, наружный осмотр не может установить, насколько известняк плохо сопротивляется действию мороза (если таковое не проявилось уже над известняком, лежавшим в штабелях), но очень слабые породы известняка легко узнаются по их внешнему землистому виду; легко узнаются и разнослойные камни, так как цвет и консистенция двух слоев, обычно, различны. Но наиболее правильным критерием служит проба даже легкими ударами молотка, так как плохой сорт при ней дает тупой звук и легко крошится; таким-же порядком узнается землистая корка. Слоистые камни легко раскалываются при ударе, направленном параллельно плоскости слоев. Поэтому, у всякого, надзи-

рающего за кладкой из известняка, молоток не должен выходить из рук, служа орудием пробы чуть не каждого камня. Особенно тщательно необходимо пробовать облицовку, так как в ней часто встречаются трещины и прожилки, иногда плохо заметные для глаза, но раскалывающие камень при сравнительно слабом ударе. К этому нужно добавить, что есть некоторые сорта плотного известняка (напр., оолитовые), имеющие чрезвычайно неказистый и подозрительный вид, но весьма крепкие и надежные; проба ударами дает возможность отличить их от действительно плохих (землистых) сортов и слоев.

Некоторые известняки, особенно довольно слабые меловатые сорта, чрезвычайно легко поглощают воду, а потому их необходимо особенно сильно смачивать водой перед кладкой, чтобы они не вытянули всю воду из цементного раствора.

г) *Глинистые сланцы* встречаются в некоторых местностях России очень часто и имеют широкое применение для кладки; они также отличаются значительным разнообразием по внешности и качествам, главным образом по морозоупорности. Некоторые сорта (т.-наз. „лопунец“) совершенно не выдерживают мороза и разваливаются в щебень от его действия; до известной степени морозоупорность можно узнать по цвету: так, синеватый и голубой сланцы относятся, большей частью, к лопунцам, тогда как красноватые и серые отлично выдерживают мороз.

В отношении сопротивления раздроблению сланцы довольно сходны друг с другом; их общее слабое место составляет земляная кора, часто покрывающая отдельные камни; узнать ее легко по внешнему виду (желтый или коричневый цвет) и удалить также легко ударами молотка. Если кора хорошо обита и данный сорт сланца не боится мороза, то каменная кладка из глинистого сланца получается очень хорошая; но недосмотр за обивкой коры может сделать ее никуда не годной. Поэтому, применение молотка при надзоре за кладкой здесь должно быть также широко, как и при известняках.

Для облицовки, благодаря небольшой толщине слоев, глинистый сланец применяется лишь в виде прикола.

На основании изложенного мы видим, что плохое качество материала сплошь и рядом может повлечь за собой полное или частичное разрушение каменного сооружения; для предупреждения последнего необходимо: а) очень осторожно относиться к камням, степень морозоупорности коих не выяснена и стараться не класть таковые в те части, которые находятся в районе промерзания, а тем более — в облицовку; б) обивать земляную корку, составляющую неотъемлемую принадлежность многих камней; в) беспощадно браковать те камни (иногда — целые штабеля), которые не выдерживают пробы ударами; г) разбивать те камни, в которых заметны трещины, прожилки или разностойность, осо-

бенно, если они предназначаются для облицовки, сводов или части сооружения, непосредственно подверженной ударам или сотрясению (верхние части устоев).

Плохая работа каменщиков заключается, преимущественно, в неправильной укладке слоев и плохой расщепке их; если при этом каменщики не жалеют цемента и кладут его толстым слоем густого раствора, в который осаживают камень, а сверху столь же щедро забрасывают раствором, то беды большой еще нет; современный цемент настолько хорош, что подобная кладка будет вполне надежной, хотя и дорогой. Но если цемента кладут недостаточно, если раствор слишком тощ или очень плохо смешан, то сооружение может легко быть разрушено от давления земли или от сотрясения при проходе поездов, особенно, если стенки его не очень толсты. Поэтому, если невозможно установить постоянный тщательный надзор за кладкой, то при отдельных осмотрах работ лица технического надзора должны, во первых, проверять, правильно ли составляется пропорция раствора и хорошо ли последний перемешивается, и, во вторых, производить пробу кладки водой; с этой целью в кладке выламывают несколько камней, уложенных дня за 2—3 перед пробой; из полученного гнезда вычищают раствор и вливают воду; если раствора недостаточно, то вода втекает в кладку в громадном количестве; таких проб нужно делать несколько, так как работа отдельных каменщиков не одинакова. Если проба водой даст плохие результаты или если плох раствор, то не остается ничего другого, как сломать уже сделанную кладку.

В отношении качества кладки, наихудшие результаты дает та, которую возводят каменщики-кирпичники, не привыкшие к буту; если попадется артель таковых, то за ней необходимо установить очень тщательный надзор, пока они не привыкнут к работе с бутом.

В своем месте указывалось, что особенно нежелательной может оказаться плохая работа при возведении сводов, благодаря тому, что там особо-важную роль играет правильное размещение клиньев, а без надзора за таковым работать нельзя. Конечно, и случайно посещая место работ, можно открыть недостатки сводчатой кладки (напр., применение обратных клиньев), но возможно эти пробелы и проглядеть. Кроме того, при кладке сводов особенно важную роль играет качество отдельных камней, а при камнях с землистой корой последняя может оказаться не обитой, если нет тщательного надзора, что, несомненно, вызовет если не разрушение, свода, то трещины в нем. Учитывая возможность всякого рода недочетов при кладке, никогда не следует придавать бутovým сводам чрезмерно малой толщины; опыт показал, что слишком тонкий свод (напр., в трубах, рассчитанных по способу проф. Белзевского) почти всегда растрескивается.

Недостатки в расчетах каменных сооружений, влекущие за собой почти всегда разрушение сооружения, могут быть двоякого рода: неправильное определение угла скольжения грунта и неправильное исчисление веса кладки. Первое имеет место весьма редко в мостах и трубах, но довольно часто в подпорных стенках. В „Деформациях земляного полотна“ указаны случаи, когда угол скольжения одного грунта по другому не превышает $26-27^{\circ}$; некоторые насыпные грунты (напр. мокрые глина и суглинок, сильно пропитанный водой плавун) также дают угол естественного откоса много менее, чем обычно принимаемый при расчете 33° . Если коэффициент устойчивости при расчете взят без большого запаса, то подобное несовпадение расчетного угла естественного откоса (или скольжения) с фактическим может повлечь за собой и, действительно, влечет разрушение сооружения. Учитывать возможность такого разрушения должен производитель работ, если он заметит, напр., что по очень крутому мергелистому скату возводится насыпь из глины и суглинка, а подпорная стенка, самостоятельная или входящая в состав устоя, выносит непосредственное давление от этой насыпи.

Гораздо чаще может иметь место случай неправильно исчисления веса кладки: последний, при расчете устойчивости, берется равным, обычно, 1200 пуд. в куб. сж., на основании чего и исчисляются размеры сооружения; однако, целый ряд известняков весит 700—900 пуд., т.-е. расчетные данные оказываются не соответствующими действительности, в результате чего в устое проявляются растягивающие усилия, которые ведут к разрушению сооружения. Чтобы избежать подобных случайностей, необходимо при выработке типов сооружений иметь два крайние предела поперечных размеров устоев—ордин, выведенный в предположении веса кладки 1200 пуд., другой—800 пуд. Вычислить вес пуда кладки из данной породы камня не представляет никакой трудности, так что производитель работ всегда может определить, какой тип применить для данного моста—более массивный (для веса в 800 пуд.) или более легкий (для веса в 1200 пуд.), или же взять интерполяцией какой-либо промежуточный тип. На эту сторону расчета у нас обращают очень мало внимание, а она имеет существенное значение, особенно, если учесть, что на ряду с недостатками в размерах могут иметь место и недочеты в материалах и работе.

В заключение, необходимо упомянуть о том влиянии, которое оказывают на качество кладки работы при температуре ниже нуля. Мороз вовсе не действует разрушительно на цементный раствор, но задерживает схватывание, которое снова возобновляется, как только прекращается мороз. В этой особенности имеются и своя положительная, и своя отрицательная стороны: положительная—ввиду того, что раствор, подвергшийся действию мороза, не может считаться

погибшим, так как с наступлением тепла и с возобновлением схватывания он приобретает все свои нормальные качества; отрицательная — ввиду того, что замерзший раствор после оттаивания, вплоть до нового схватывания, не может выносить никакого давления, а потому сооружение, подвергающееся последнему, неминуемо разрушается при наступлении тепла, если будет упущено, что раствор замерз. Помимо того, раствор при замерзании может растрескиваться, если в нем очень много воды, расширяющейся при обращении в лед, а раствор не обладает достаточной силой сцепления.

На основании указанного свойства и должны применяться меры для защиты кладки от мороза: кладка при температуре ниже 0 должна вестись на более жирном растворе, причем цемент применяется преимущественно быстро-схватывающийся *).

С наступлением ночных заморозков, у сооружения должны быть подготовлены соломенные маты или войлоки для закрытия на ночь **) и котлы для подогревания воды; горячая вода требуется по утрам, для обливания камней и приготовления раствора, чтобы уничтожить ледяную корку, образовавшуюся с ночи. Когда-же и днем температура понизится ниже нуля (или будет очень немногим выше его, при ночных заморозках), то кладку производят на соляном растворе, повышающем температуру, примерно, на пол-градуса от $\frac{1}{2}$ фунта соли на ведро воды. Горячая вода также несколько задерживает замерзание, но ее главная цель — обогреть материал, как уже указано выше. С соблюдением указанных мер возможно производить кладку при температуре до 6° ниже нуля, но при более низкой температуре работы следует вести в тепляках; при работе в последних, особенное внимание следует обратить на достаточное обогревание материалов, идущих в дело, для чего при каждом тепляке должно иметься отдельное помещение для материалов; обогревание в самом тепляке совершенно недопустимо, так как при этом в кладку очень легко может попасть необогретый материал, да и температура тепляка сильно понижается от присутствия обледенелого камня и песка.

Расчитывать на то, что кладка может быть выполнена и при морозе, а затем оставаться ненагруженной до тех пор, пока раствор не оттает и не схватится — нельзя, так как совершенно невозможно учесть, когда-же таяние наступает в толще кладки, особенно, если замерзанию подвергся раствор не наружных, а каких-либо из внутренних слоев

*) На этом основании, если на работах применяется несколько сортов цемента, то наиболее быстро схватывающийся должен быть оставлен для поздних осенних работ.

**) При длительных перерывах кладки (напр., на всю зиму или до постройки тепляка) вполне допустимо закрытие песком, шлаком или торфом.

ее. Только такие части кладки, которые никогда не несут никаких нагрузок, могут подвергаться сказанному эксперименту, но в искусственных сооружениях таковые почти не встречаются, за исключением кордона.

4. *Кирпич.* Как видно из предыдущей главы, кирпич довольно редко употребляется для искусственных сооружений, где идет, преимущественно, на полуциркульные своды небольших отверстий и на облицовку *) путепроводов и им подобных сооружений. В отношении качества, кирпич столь же разнообразен, как и камень; его лучшие сорта настолько тверды, водонепроницаемы и хорошо выдерживают сырость, что могут применяться где угодно, худшие же сорта для кладки искусственных сооружений, вообще, не годны. Обычно встречаемые сорта среднего качества не особенно хорошо выдерживают влияние сырости, чем и объясняется ограниченное их применение. По качеству, кирпичная кладка стоит выше бутовой потому, что заполнение внутренних швов раствором в ней легче делать и надо умышленно плохо работать, чтобы в кирпичной кладке допустить такие же пустоты, которые в бутовой являются результатом просто небрежной работы.

Как материал для сводов, кирпич хорош только там, где не требуется притеска, почему его можно рекомендовать лишь для кольцевой (английской) кладки; зато, последняя дает несравненно лучшие результаты, чем бутовая и по качеству может быть приравнена к бетонной. Своды из лекального кирпича, разумеется, очень хороши, при сколько-нибудь приличной работе, но дороговизна лекального кирпича почти прекратила его применение после появления бетонных сводов.

5. *Бетон.* Хотя бетон состоит из тех же составных частей, что и бутовая кладка, но он представляет собой несравненно более однородную массу, гораздо менее восприимчивую к качествам каменных пород, ее составляющих, чем бут. Это объясняется следующими причинами: а) при разбивании камня на щебень, все трещины, прослойки и т. д. теряют свое значение, так как именно по ним происходит раскалывание камня на отдельные щебенки; б) слабый камень, не выдерживающий ударов, рассыпается в порошок, смываемый при обливании щебня водой; в) возможные разрушения отдельных щебенек, благодаря их ничтожным размерам, не играют той роли по отношению к общей массе кладки, как разрушение целого камня, несравненно большего по объему; г) индивидуальные качества рабочих играют при бетонной кладке ничтожную роль, когда как при бутовой — огромную. Помимо своей монолитности, бетон имеет еще следующие достоинства: а) в него можно употреблять речную

*) Для облицовки иногда применяется и силикатный кирпич, ввиду его красивого внешнего вида; он может быть, по качествам, приравнен к лучшим сортам обыкновенного кирпича.

гальку и щебень, т.-е. самые твердые каменные породы, превосходно выдерживающие раздробление и действие мороза; б) благодаря большой пластичности бетона в уже схватившемся виде, он лучше сопротивляется растягивающим усилиям, чем бут, а как раз эти-то усилия особенно опасны для кладки (см. отд. 3); в) возможность придавать бетону без труда любую форму делает его чрезвычайно ценным материалом для сводов и иных частей сложных очертаний; г) бетон позволяет обходиться без квалифицированных рабочих, требуя лишь самого элементарного технического надзора, что в иных случаях может оказаться чрезвычайно удобным; д) быстрота работы при бетоне—наибольшая; е) возможно применение машинного труда.

К недостаткам бетона относятся: во первых, особая важность для него хороших качеств раствора, а, следовательно, абсолютная необходимость хорошо следить за его изготовлением *), и, во вторых, очень большая восприимчивость к действию мороза, почему меры, указанные выше на случай последних, должны быть особо строго выполняемы.

Бетон без арматуры применяется почти исключительно трамбованным; последний может быть двоякой консистенции—сухой и сильно-влажный; оба они, месяцев через 6, совершенно одинаковы по качеству, но до истечения этого срока сухой—гораздо прочнее. На этом основании, для тех сооружений, которые должны скоро выносить полную нагрузку, сухой бетон предпочтительнее; то-же следует сказать и о сооружениях, возводимых в деревянных формах, если только последние не сделаны очень тщательно, так как часть раствора из сильно-влажного бетона протекает сквозь мелкие щели. Зато, перемешивать сильно-влажный бетон легче, чем сухой, и первый требует менее интенсивной трамбовки, почему в сооружениях с неособенно хорошим техническим надзором имеет прямой смысл применять сильно-влажный бетон. Что-же касается до нетрамбованного (литого) бетона, то он применяется почти исключительно при устройстве оснований и фундаментов под водой; в остальных-же случаях его употребляют только там, где трамбовка очень затруднительна.

Характерное свойство бетона заключается в том, что для его изготовления ручной труд может быть сведен до минимума и почти целиком заменен машинным: если не берутся уже готовые в природе речная галька или гравий, а камень, то его можно разбить на щебень камнедробилками; песок с цементом и раствор с щебенкой перемешиваются особыми машинами; подача бетона из машин на место работ может производиться помощью тех или иных усовершенствованных приспособлений. Подобное широкое применение ма-

*) При машинном изготовлении раствора, его хорошие качества можно считать обеспеченными.

шинного труда, с одной стороны, крайне ускоряет работу, а с другой,—позволяет не считаться с недостатком рабочих рук.

Эти особенности бетона и обусловили его широчайшее применение в Соединенных Штатах, где при кладке искусственных сооружений он совершенно вытеснил бут *). Несомненно, и у нас бетону предназначено играть в будущем роль, гораздо более важную, чем до сего времени.

6. *Железобетон* Как материал для железобетона, помимо битого щебня, может быть и, притом, предпочтительнее применена галька, гравий и даже крупный песок; если прибавить сюда возможность с большим успехом использовать осколки от облицовки (при теске ее), то ясным станет, что найти подходящий материал для железобетона сравнительно легко и необходимо только иногда промывать и прогрохачивать его **).

Лишь при грубом несоблюдении требований, предъявляемых к хорошему песку и гравия или при применении заведомо негодного щебня, качество материалов может быть причиной разрушения ***).

Зато, последнее значительно чаще вызывается плохой работой; благодаря малой толщине железобетонных сооружений, благодаря тому, что небольшие отступления от проектированных очертаний могут вызвать совершенно неправильное распределение напряжений, благодаря, наконец, очень значительным допускаемым усилиям, особенно растягивающим, железобетон требует чрезвычайно тщательного выполнения и нарушение этого требования влечет за собой самые печальные последствия. Прежде всего, очень большое значение должно придаваться неподвижности опалубки во все время исполнения работ; в сколько-нибудь значительных сооружениях прочность опалубки должна проверяться расчетом, а при выполнении, помимо тщательности работы, должно обращаться особое внимание на достаточную надежность

*) Легкое армирование у наружных поверхностей (черт. 75), разумеется, не дает никакого повода к применению для таких устоев или сводов термина „железобетонных“.

**) Чрезмерной промывкой и грохочением увлекаться не следует, так как примесь глины до 20% скорее полезна, чем вредна, если только она не облекает отдельных частиц песка или гравия, а имеется в виде отдельных очень мелких крупинок, гравий-же и песок различного размера дают лучший раствор, чем однообразные по величине. Это относится, разумеется, не только к железобетону, но и к бетону, и ко всякому цементному раствору. Грохочение должно лишь, с одной стороны, устранить чрезмерно мелкие частицы (пыль), а другой—чрезмерно крупные, но никак не гнаться за одинаковым размером частиц песка, гравия или щебня.

***) Разумеется, плохой цемент скорее всего может вызвать разрушение бетонного или железобетонного сооружения, но приема цемента обставлена такими гарантиями его достоинства, что можно всегда считать цемент, идущий в дело, вполне удовлетворительным: применение подмоченного цемента относится уже к области прямой недобросовестности и при сколько-нибудь правильной постановке дела не может иметь места.

основания; совершенно недопустимо, чтобы при выполнении сооружения происходила осадка стоек, поддерживающих опалубку, особенно—горизонтальную. Раз опалубка возведена прочно и ее очертания соответствуют проекту, то всё внимание должно быть обращено на правильное расположение арматуры; особенно тщательно приходится следить за ним при одиночной арматуре, так как иначе она может оказаться вне зоны растягивающих усилий. Двойную арматуру очень часто и ставят для того, чтобы воспринять те растягивающие усилия, которые могут оказаться не воспринятыми одиночной, причем в расчет вводится только последняя. Разумеется при установке арматуры, необходимо обращать серьезное внимание на прямизну ее или плавную изогнутость по заданной кривой; в случае применения свободных стержней, выпрямление производится растягиванием на воротах.

Заполнение бетоном опалубки с установленной арматурой должно производиться не менее тщательно, чем обе предыдущие операции и чем изготовление бетонной массы, которая должна быть самым тщательным образом перемешана и составлена в надлежащей пропорции. Первое условие при бетонировании заключается в том, чтобы бетон плотно облегал арматуру, для чего он должен иметь достаточно жидкую консистенцию; сильная трамбовка может считаться совершенно излишней и только могущей погнуть или сдвинуть арматуру, но при бетонировании стоек и тонких стен, необходимо слегка протрамбовывать бетон с целью протолкнуть его вниз для лучшего заполнения пространства под горизонтальными стержнями и крючьями; при бетонировании горизонтальной поверхности трамбование вовсе не требуется. Таким образом, мы останавливаемся на применении литого бетона, позволяющего скорое возведение сооружения, хорошее перемешивание, крайне прочную работу, равномерность качества и гарантию в том, что железные части после бетонирования останутся на прежнем месте. Разумеется, возможно и даже часто имеет место применение трамбованного бетона, но преимущество у него только одно—это большая прочность в течение первого времени по изготовлении и возможность на несколько дней скорее снять опалубку.

К морозу железобетон крайне чувствителен, а потому изготовление его без тепляков может быть допущено лишь при принятии всех указанных в своем месте предосторожностей и то лишь в том случае, если это заставляет сделать крайняя нужда

Железобетон, сделанный при морозах без тепляков, должен оставаться в опалубке до весны и после наступления теплой погоды, опалубку можно снимать не ранее, как через шесть недель. Вообще-же говоря, снятие опалубки не должно делаться ранее шести недель по окончании работ, и только в маленьких сооружениях—через четыре недели.

После распалубливания, следующие недели две сооружение не подвергается никакой нагрузке.

Благодаря тому, что расчет железобетонного сооружения производится довольно точно, ошибки в расчете редко служат причиной разрушения; тем не менее, бывали случаи, когда в расчете оказывалась пропущенной проверка на сцепление бетона с железом и сооружение разрушалось именно из-за недостаточного сцепления. Наблюдались также случаи излома длинных железобетонных свай, при перетаскивании их, так как тогда работа свай была совершенно иная, чем предвиденная расчетом; это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании железобетонных свай. Наконец, все расчеты не приводят ни к чему, если сооружение подвергается сильным ударом, так как железобетон выносит их непосредственное действие очень плохо; удары же, передаваемые железобетону землею, он выносит прекрасно.

Железобетон — прекрасный материал, могущий быть широко использованным для самых разнообразных целей; однако, некоторые его слишком рьяные поклонники придают железобетону черезчур универсальное значение. Учитывая особенности этого материала, приходится признать, что действительно с выгодой он может применяться, прежде всего, там, где стоимость хорошего технического надзора и хорошего выполнения опытными рабочими ложится сравнительно невысоко на всю стоимость сооружения. Сюда относятся: а) очень крупные сооружения; б) сооружения и части их, изготавливаемые заводским способом (напр., круглые трубы, сваи); в) мелкие сооружения, сгруппированные на близком расстоянии; г) те мелкие сооружения, которые могут возводиться последовательно, так что можно пользоваться одной и той артелью, переходящей с места на место.

Второе условие выгодности применения железобетона заключается в том, чтобы стоимость опалубки не была чрезмерно большой по сравнению со стоимостью всего сооружения. Это условие имеет место:

а) там, где и без применения железобетона требуется устройство подмостей (своды);

б) там, где формы можно использовать несколько раз; чем большее число раз можно применить одну и ту же форму, тем применение железобетона выгоднее; этим и объясняется, что самыми выгодными оказываются сооружения или части их, выполняемые заводским способом;

в) там, где поверхность сооружения должна быть тщательно отделанной, так как высокая стоимость подобной отделки компенсирует расход на опалубку;

г) там, материал для опалубки дешев, равно как и рабочие руки для ее изготовления.

д) там, где опалубки вовсе не требуется.

Но могут быть случаи, когда выгодность железобетона обуславливается преимущественно стоимостью доставки ма-

териала к месту работ, почти и независимо от стоимости технического надзора, рабочих рук и опалубки. Эти случаи встречаются.

а) там, где подноска материала, в случае применения камня или бетона, очень дорога и меньший объем железобетона облегчает эту работу (напр., устройство подпорных стенок на высоких косогорах);

б) там, где отдельные части сооружения в случае изготовления из другого материала имеют крупные размеры и потому изготовление их на месте из железобетона выгоднее, чем доставка готовых; таковы, напр., железобетонные фермы, железобетонная облицовка, карнизы, кордоны и подферментники.

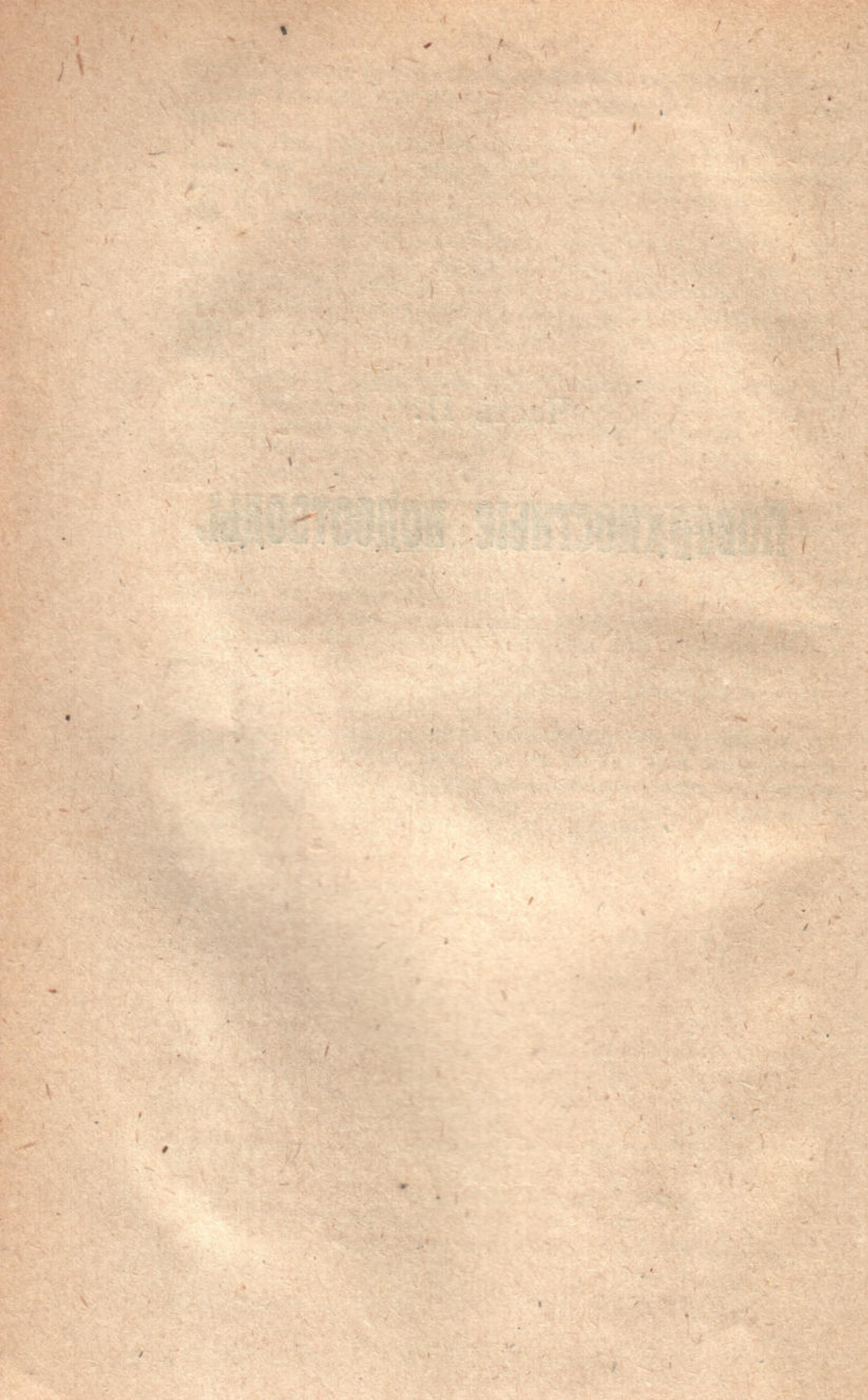
Наконец, применение железобетона взамен бетона или камня выгодно и тогда, когда желают по возможности облегчить сооружение. Подобные случаи, впрочем, встречаются почти исключительно в гражданских сооружениях и очень редко — в искусственных.

В предыдущей главе было указано, что менее всего железобетон выгоден там, где сооружение требует известной массивности; примером этому служит вес опоры мостов. Далее, при опускании кессонов или опускных колодцев, где процесс опускания тем легче, чем больше вес оболочки, применение железобетона гораздо менее выгодно, чем применение камня или бетона с деревянной или железной оболочкой; армирование, правда, делается и в кессонах, но самого элементарного типа, соответствующего анкерным связям в обыкновенной каменной кладке.

В заключение, следует упомянуть, что по данным американской практики, там, где от бетона или железобетона требуется большая водонепроницаемость (напр., в штукатурке), чрезвычайную пользу может оказать примесь к раствору 5 — 10% нефти от веса цемента.

Часть II.

Поверхностные водоотводы.



ГЛАВА VII.

Классификация поверхностных водоотводных устройств.

К поверхностным водоотводным устройствам относятся чуть не все сооружения, входящие в разряд т.-наз. „дополнительных земляных работ“; роль их, на первый взгляд, очень скромна, но на самом деле—чрезвычайно важна, так как эти невидные сооружения обеспечивают целостность полотна дороги от его злейшего врага—воды. По своим задачам и конструкции, поверхностные водоотводные устройства весьма разнообразны, тем более, что применение того или иного типа и детали выполнения зависят от крайне изменчивых местных условий. Нижепомещаемая классификация водоотводных устройств является, кажется, первой попыткой систематизировать их в зависимости как от преследуемых задач, так и от конструкции.

Все водоотводные сооружения могут быть сведены в два обширные класса, в свою очередь подразделяющиеся на группы и подгруппы: *искусственные водотоки* и *искусственные берега*. К первым относятся *каналы* и *русла* (*водоотводы* и *водопропуски*), а ко вторым—*водоотводные планировки* и *защитные сооружения*. Самые названия обоих основных классов показывают, что к первому из них относятся сооружения, пропускающие воду *внутри себя*, совершенно так же, как это имеет место в водотоках естественных, тогда как сооружения второго класса лишь обеспечивают сток воды от полотна к естественному или искусственному водотоку и не допускают поверхностную воду, не вмещающуюся в водотоках, к защищаемому сооружению (чаще всего—к полотну дороги). Таким образом, *искусственные водотоки* должны иметь те же отличительные черты, что и естественные, т.-е. достаточный продольный уклон и поперечное сечение, обеспечивающее удобное протекание воды, коим является сечение в виде опрокинутой трапеции, пропускающее воду *ниже уровня земли*. Другими словами, искусственные водотоки представляют собой более или менее широкие и глубокие *выемки*; исключения из этого правила, хотя и встречаются, но крайне редко и на очень небольшой длине.

От *искусственных берегов* продольного уклона не требуется и таковой служит лишь для уменьшения земляных работ; зато, им почти всегда придается *поперечный уклон* для возможности стока воды от защищаемого сооружения;

горизонт искусственных берегов должен быть *выше* воды — чаще всего высокой, а изредка только меженной. Благодаря различной конфигурации грунта, поперечное сечение искусственных берегов может быть различно, а различная высота поверхностной воды по отношению к защищаемому сооружению позволяет применять для них как насыпь, так и выемку; последняя, впрочем, встречается значительно реже.

Сооружения, входящие в состав одного класса, могут быть очень близки друг к другу по устройству, могут выполнять одновременно несколько целей или незаметно переходить одно в другое, но ни в коем случае не могут заменять собою сооружений другого класса; зато, они могут *дополнять* последние, а в некоторых, весьма частых, случаях, это дополнение — обязательно; обыкновенно, оно и очень удобно, так как земля из выемки искусственного водотока может идти на образование искусственного берега, если последний делается насыпным. Помимо того, искусственные водотоки очень часто служат резервами для всякого рода насыпей, позволяя с наибольшей выгодой использовать вынутую землю; там, где проектное сечение искусственного водотока недостаточно для получения требуемого количества земли, ему придается специальный *профиль резерва*, различный для различных категорий водоотводных сооружений.

Сооружения первого класса (*искусственные водотоки*) подразделяются, как уже сказано, на две большие группы: *канавы* или *водоотводы* и *русла* или *водопропуски*. Первые отводят воду в *сторону* от линии или *вдоль* нее, тогда как вторые подводят воду непосредственно к искусственным сооружениям и от них, т.е. пропускают воду *поперек* дороги.

К *водоотводам* относятся:

а) *Продольные канавы*, направленные более или менее параллельно линии; сюда принадлежат *отводные*, *нагорные*, *путевые*, *болотные* (*осушительные*), *забанкетные* и *предкавальерные канавы*, а также *кюветы выемок*.

б) *Продольные спрямляющие русла*, устраиваемые для спрямления тех *крутых колен* естественного русла, которые слишком *приближаются* к полотну или даже *засекаются* его откосами.

в) *Поперечные канавы*, служащие для отвода воды в сторону от линии и направленные под углом к последней.

Водопропуски разделяются на:

а) *Разделанные русла*, представляющие собой естественные русла, разработанные так, чтобы подход воды к искусственному сооружению и от него был поставлен в *наивыгоднейшие условия*.

б) *Искусственные русла*, устраиваемые взамен естественных там, где последние *уничтожаются* или неясно выражены; сюда же относятся и *спрямляющие русла*, заменяющие сильно искривленные участки естественных русел и отличающиеся от продольных спрямляющих русел тем, что имеют

основной целью—правильное направление водной струи под искусственное сооружение или от него, тогда как продольное спрямление производится совершенно независимо от того, существует или нет искусственное сооружение.

Совершенно аналогично и искусственные берега делятся на две большие группы: водоотводные планировки и защитные сооружения. Первая группа (*водоотводные планировки*) имеет целью предупредить застой воды на участке, не имеющем естественного ската к водотоку, (искусственному или естественному); в простейшем случае для этого достаточно выровнять поверхность грунта, что может быть достигнуто как подсыпкой, так и срезкой, с приданием верху планировки поперечного уклона в сторону водотока (*простые планировки*). Но может оказаться, что планируемый участок лежит ниже уровня воды, протекающей в том водотоке, к которому направлен скат планировки; в этом случае, мы должны не только спланировать данный участок, но и приподнять его настолько, чтобы верх его у водотока находился выше уровня воды в последнем. Здесь мы имеем дело с *повышенной планировкой*, выполняемой, очевидно, только путем подсыпки.

Вторая группа искусственных берегов, т.-е. *защитные сооружения*, имеет целью не допускать к полотну той воды, которая не может быть отведена помощью искусственных водотоков или не вмещается в последние. Естественно, что необходимость поднять верх защитных сооружений выше окружающей воды заставляет обязательно употреблять для них подсыпку.

Водоотводные планировки заключают в себе:

а) *бермы*, устраиваемые вдоль подошвы насыпей для удобного стока воды к продольной канаве или резерву; бермы могут быть простыми или повышенными, причем первые образуются как подсыпкой, так и срезкой, а вторые—только подсыпкой; верхняя поверхность всех берм имеет поперечный скат 0,02—0,04, иногда уменьшаемый до 0,01;

б) *банкеты*, отличающиеся от берм только тем, что располагаются выше полотна, т.-е. чаще всего—вдоль верхнего ребра откоса выемок;

в) *засыпки оврагов*, различающиеся от берм или банкетов как неизбежностью применения насыпей, так и большими размерами (в высоту и ширину, при малой длине; поперечный уклон делается различным;

г) *засыпки ям, староречий, русел* и т. д., совершенно независимые от полотна и его откосов; верхняя поверхность засыпки делается в уровне с окружающей местностью.

К *защитным сооружениям* относятся:

а) *защитные бермы*, прилегающие у откосу насыпи (а иногда—к естественному берегу), имеющие целью защитить откос от действия самых высоких вод, почему, верху

бермы придается соответственная отметка; верхняя поверхность обязательно имеет поперечный уклон 0,02—0,04;

б) *струи направляющие дамбы*, служащие для того, чтобы струи высокой воды у искусственного сооружения направлялись в последнее по желаемому направлению; дамбы чаще всего делаются прилегающими к откосам насыпи, но могут встречаться и в виде отдельных насыпей;

в) *транверсы*, служащие или для отклонения струи от угрожаемого места, или для предупреждения переливания воды из одного бассейна в другой; направлены всегда под прямым или близким к нему углом к защищаемому полотну или берегу.

Пеходя к описанию отдельных типов поверхностных водоотводных сооружений, мы должны иметь в виду уже указанную выше *взаимодополняемость искусственных водотоков и искусственных берегов*, очень часто встречающуюся, а потому, при рассмотрении первых, будем попутно рассматривать и соответствующие им типы вторых.

ГЛАВА VIII

В о д о о т в о д ы

(канавы и продольные русла).

1. Продольные канавы.

Продольные канавы являются почти неизменными спутниками земляного полотна, идущего по местности, не покрытой водой, да иначе и быть не может, так как только они обеспечивают ему непрерывную защиту от воды, зашиту, без которой наилучшее построенное полотно никуда не годится; собранная канавами вода стекает в наиболее пониженные точки, откуда она или пропускается под полотно помощью искусственного сооружения или отводится в сторону то поперечной канавой, то по естественным водотокам. Так как вода может подойти к полотну из различных мест, то и продольные канавы соответственно делятся на несколько различных категорий; очень часто, впрочем, одна и та же канава выполняет цели нескольких. В зависимости от этого, мы рассмотрим сперва те канавы, которые вырываются только для одной цели, а затем те, которые совмещают их несколько. Подобное совмещение делается исключительно в целях экономии, чтобы не рыть параллельно друг другу нескольких канав узко-специального назначения, но далеко не всегда эту экономию стоит преследовать, ибо, как будет видно ниже, не ко всем категориям канав предъявляются одинаковые требования.

К какой-бы категории продольная канава ни относилась, ее основная цель — не допускать поверхностную воду к полотну или его откосам; поэтому, в каждой точке канава должна иметь достаточную глубину, в наиболее серьезных случаях проверяемую расчетом (гл. XII). Если местность не позволяет достигнуть такой глубины путем соответственной врезки дна канавы в землю, то со стороны полотна устраивается искусственный берег (берма или банкет) необходимой высоты; очевидно, это имеет место в наиболее пониженных точках продольного профиля канавы.

Все эти пониженные точки заслуживают особого внимания при устройстве канав, так как именно в них легче всего возможно попадание воды к откосам полотна; такого-же внимания заслуживает и выход из продольной канавы, так как в нем струя воды обязательно меняет свое направление и может, если не принять соответственных мер, ударить в полотно. Поэтому, прежде, чем перейти к описанию отдельных категорий канав, необходимо сказать несколько слов об общей их черте — об устройстве выходов. Последнее может быть различно, в зависимости от того, впадает-ли канава в глубокий овраг или в неглубокий лог; к последним почти всегда относятся и искусственные русла. При впадении в глубокий овраг канава может не доводиться до дна его, но, во всяком случае должна доводиться до точки, лежащей на 0,50—0,70 сж. ниже бровки полотна; то-же самое относится и к тому случаю, когда канава, идущая по горе, подходит к крутому склону в низину; в обоих случаях, у выхода канава должна расширяться так, чтобы на нуле ее ширина была вдвое больше ширины по дну, для предоставления воде возможности разливаться тонким слоем по скатам оврага. При подобном устройстве выхода, он должен быть загнут в сторону от линии, а вдоль откоса насыпи отсыпана берма. Но если грунт оврага или ската горы размываем, особенно при большом количестве воды в канаве, то выход канавы должен быть продлен до дна оврага и соответственно укреплен; благодаря крутому скату, укрепления здесь должны быть весьма солидными, даже при не очень значительном количестве воды; чаще всего применяются каменные уступы с водобойными колодцами, в количестве одного или нескольких (см. „Деформации“ стр. 67), а при более пологих скатах или малом количестве воды — уступы из мостовой с поперечными плетнями, одиночной или двойной (см. „Деформации“ стр. 66).

Что касается до неглубоких логов, то в выход из канавы всегда следует доводить до самого тальвега, при том укреплении дна, которое требуется данными условиями скорости протекания воды, т.-е. уклоном дна канавы и количеством протекающей воды.

Раз канава, в силу тех или иных соображений, доводится до тальвега принимающего ее водотока, то сопряжение

с ним делается по пологим кривым, как более подробно указано при описании русел (стр. 173).

Наконец, если вдоль линии идет несколько параллельных канав (напр., нагорная канава и кювет), то у выхода они обыкновенно сливаются в одну, причем обязательно канава, ближайшая к линии, отгибается от нее и впадает в более отдаленную канаву так, чтобы угол впадения был не круче 45° .

А. Отводные каналы.

Отводные каналы имеют целью выпуск воды из низин, засекаемых линией, а, потому, почти всегда устраиваются с верховой стороны последней; только при пересечении замкнутых котловин отводная канава проводится и с низовой стороны, да еще в очень редких случаях совпадения оси линии с осью тальвега может оказаться, что впадающие в него притоки приходится отводить с обеих сторон. Проведенная с верховой стороны отводная канава чаще всего выполняет одновременно и функции нагорной, но при большой глубине она должна делаться самостоятельной (см. ниже: *Нагорные и забанкетные каналы*).

Проектирование отводной канавы в профиле и плане легко определяется ее задачами: за начало канавы принимается низшая точка отводимой низины в нескольких саженьях от подошвы откоса насыпи или верхнего ребра выемки. Начальная отметка канавы берется на 0,10—0,20 сж. ниже отметки этой точки, причем с дном тальвега в верховую сторону углубленное дно канавы сопрягается уклоном, раза в $1\frac{1}{2}$ превышающим естественный, а в низовую сторону проектировка профиля задается ровным небольшим уклоном (лучше всего 0,003—0,004, хотя его можно уменьшить и до 0,002); этот уклон и глубина канавы должны быть проверены расчетом (см гл. XII), и, буде потребуется, увеличены. Там, где при заданном уклоне дно канавы начинает быстро приближаться к поверхности земли, ввиду большого ската последней (т.-е., у выхода), уклон соответственно увеличивается и далее до выхода определяется исключительно уклоном местности.

Поперечный профиль канавы зависит от количества протекающей воды и условий местности; ширина по дну определяется расчетом (гл. XII), но, во всяком случае, чрезмерно большою ее делать не следует, так как, при чаще всего встречающимся протекании воды в меньшем количестве против расчетного, чрезмерная ширина облегчает засорение, ввиду малой скорости. Правильнее для пропуска наибольшего расчетного количества воды увеличить глубину, хотя бы это потребовало лишних земляных работ. Откосы канавы делаются полуторными и только при стесненной местности

или каменистом грунте допускаются более крутыми, причем в первом случае — с соответственным укреплением.

План канавы определяется, прежде всего, правильною протеканием воды; для этого сопряжение канавы с отводимым водотоком делается по пологой кривой (черт. 87), а если в канаву впадают другие водотоки, то выпуски их обделываются или по кривой, или так, чтобы струя притока образовывала со струей канавы угол не круче 45° (черт. 88). Помимо сказанных условий, направление канавы должно быть трассировано так, чтобы количество земляных работ в ней было наименьшее; с этой целью, ее начало и устье отводятся возможно далеко от линии, а средняя часть приближается к последней; если по дороге встречается значительное понижение местности, то канава отклоняется в сторону, огибая его (черт. 89). Другими словами, при трассировке преследуется идеал хода по горизонтали, обычно, впрочем, как и всякие другие идеалы, не претворяемый полностью в факт; так, если канава пересекает низину значительной ширины, то не всегда возможно обогнуть ее по горизонтали и приходится допускать пересечение канавы и низины в таком месте, где глубина первой близка к нулю. В этом случае путем берегом канавы служит полевой откос бермы или банкета, заполняющих пространство между канавой и полотном. В отдельных случаях, встречается пересечение низины и помощью насыпи (см. ниже „Засыпка оврагов“).

Пространство в низине между началом канавы и полотном обязательно заполняется земляной бермой, если дно канавы находится значительно ниже полотна (не менее 0,3 саж.). Берма должна иметь поперечный уклон 0,02, иногда уменьшенный до 0,01, и верх ее в месте сопряжения с откосом насыпи должен быть не менее, чем на 0,30 саж., ниже бровки последней. Зная эти задания и имея поперечный уклон местности, мы легко определим то наибольшее расстояние, на которое может быть отнесено от полотна начало канавы, если предположить, что берма сходит на нет к нему; в этом последнем случае, однако, глубина канавы в ее истоке должна быть не менее 0,20 саж. Лучше давать берме некоторое возвышение (хотя-бы в 0,10 — 0,20 саж.) и менее глубокой вырыть канаву, так как тогда ее сопряжение с естественным логом произойдет на меньшей длине и, главное, получить более пологий уклон. В плане берма должна иметь плавное криволинейное очертание, соответствующее очертанию канавы в пределах низины (черт. 87). Совершенно такие-же бермы устраиваются в низинах, засекаемых отводной канавой в других ее точках.

Иначе обстоит дело, если дно низины в исходной или другой точке канавы выше полотна или немногим ниже его, что имеет место у выемок, у насыпей, идущих по косогорам или вдоль подошвы их, и у насыпей, имеющих очень малую

высоту, пересекающих логи с крутым продольным уклоном. Во всех этих случаях, между отводной канавой и полотном обязательно имеется еще одна канава, соответствующая кювету выемок, принимающая в себя воду непосредственно с полотна. Поэтому, иногда бывает возможным спускать в нее воду с пространства, расположенного между этой канавой и отводной, не устраивая между ними земляной засыпки (банкета), направляющей воду с упомянутого пространства в отводную канаву. При этом, однако, приходится, с одной стороны, придавать значительную глубину отводной канаве у ее начала, чтобы не допустить перелива воды из отводимого водостока в пересыпанную низину, а в другой — увеличивать сечение канавы, собирающей воду с полотна. Это связано с большими расходами, если увеличивается сечение кювета длинной и, тем более, глубокой выемки; поэтому, указанный способ возможно применять почти исключительно тогда, когда мы имеем дело с насыпью, проходящей по косогору или у его подошвы. В остальных случаях лучше прибегать к устройству банкета, заполняющего низину между обоими канавами, к которому относится всё, сказанное о бермах, кроме, конечно, указания об отметке бермы при сопряжении с полотном; верх банкета может быть выше полотна на совершенно произвольную величину, и только абсолютная его высота не безразлична, как о том сказано ниже, при описании банкетов (стр. 183).

Там, где отводится вода из замкнутой котловины или широкой низины, без ясно-выраженного тальвега, проектировка значительно упрощается, так как нет необходимости в плавном сопряжении дна канавы с дном тальвега ни в плане, ни в профиле; канава на всем протяжении роется параллельно оси полотна с таким расчетом, чтобы ее наименьшая глубина в пределах низины была не менее 0,05 — 0,10 саж.; полоса для бермы оставляется одинаковой повсюду ширины в 1,5—2 саж. (не считая ширины 2-го пути, как и всюду в дальнейшем) и берма насыпается высотой 0,20—0,30 саж.; только в каких-либо исключительных условиях (местность с необычайно сильными ливнями) берма поднимается выше.

Земля из отводной канавы вне пределов отводимых водотоков может распланировываться как угодно, если канава не выполняет никакой другой роли и не сопровождается другой канавой. Обычно, земля складывается в виде валиков по обоим сторонам, а в случае большой близости к полотну — распланировывается между откосом последнего и канавой, в виде бермы или банкета.

Глубина отводной канавы может быть очень велика, в зависимости от различия самой высокой отметки по оси ее с нижней отметкой отводимой низины, но из этой глубины полезную работу выполняет лишь часть, находящаяся в пределах самого высокого горизонта протекающей воды; эта часть и подлежит соответственному укреплению (см. „Де-

формации земляного полотна", стр. 69 и гл. XII настоящей книги). Откосы же канавы, лежащие выше упомянутого горизонта, находятся в совершенно аналогичных условиях с откосами обыкновенных выемок, почему, в зависимости от глубины и грунта, они могут или вовсе не укрепляться, или укрепляться обшивкой, крестовой и сплошной дерновкой. При разнослойном и мокром грунте может потребоваться и дренирование откосов (см. "Деформации земляного полотна", стр. 70).

В скалистых грунтах отводные канавы не применяются, ввиду дороговизны их, заменяясь искусственными сооружениями.

Б. Нагорные и забанкетные канавы.

В отличие от отводных канав, предохраняющих полотно против попадания сосредоточенных в одном месте масс воды, нагорные канавы не допускают к полотну воду, распределяемую тонким слоем по обширной поверхности пологих или крутых ровных скатов; таким образом, отводные канавы и в начале, и в конце пропускают одинаковое количество воды, тогда как последнее увеличивается в нагорной канаве по мере удаления от верховьев. В соответствии с этим, идеальный профиль отводной канавы имеет постоянную глубину, а нагорной — постепенно возрастающую от нуля до величины, соответствующей максимальному расходу в канаве. На самом деле, разумеется, от этого идеала приходится отступать, считаясь как с наименьшим допустимым уклоном дна канавы, так и с уклоном местности.

В широком смысле слова, под рубрику "нагорные канавы" подходят все канавы, расположенные с нагорной стороны линии и имеющие целью недопущение к последней ливневой и снеговой воды, протекающей ровным тонким слоем по поверхности земли. Но на практике упомянутый термин прилагается лишь к канавам, защищающим выемки и кособоры и, притом, имеющим более или менее значительную глубину; канавы вдоль насыпей носят название *путевых*, а очень неглубокие канавы вдоль выемок — *забанкетных*. Здесь мы рассмотрим лишь нагорные канавы в узком смысле этого слова, а также канавы забанкетные, так как точную границу между ними провести очень трудно; можно лишь сказать, что нагорные канавы, имеющие глубину не свыше 0,15—0,20 саж., чаще называются *забанкетными*; так же называются канавы, идущие с обеих сторон выемки на местности, не имеющей определенного поперечного ската. Ввиду малой глубины забанкетных канав, им часто придаются одиночные откосы, тогда как нагорным канавам — почти всегда полукоренные. Ширина нагорных канав по дну берется не менее 0,25 саж., а забанкетных уменьшается до 0,15—0,20 саж.

Нагорная или забанкетная канава является неременной спутницей каждой выемки, хотя часто она выполняет одновременно и другие функции. Даже при скалистых выемках следует устраивать хотя-бы неглубокую канаву, с вертикальными откосами, во избежание затопления выемок.

Так как вода в нагорную канаву попадает не только с верховьев ее, но и, преимущественно, со стороны полевого откоса, то, очевидно, работа воды в ней совершенно иная, чем в канаве отводной, а потому и укрепление дна и откосов бывает иным: полевой откос при размываемом грунте должен укрепляться до самого верха и тем надежнее, чем глубина канавы больше; путевой-же откос подвергается лишь действию воды, стекающей на него с банкета, а потому может или совсем не укрепляться, или укрепляться слабее полевого; только нижняя часть путевого откоса должна иметь такое-же укрепление, как полевого, ввиду, во первых, протекание продольных струй и во вторых, ввиду удара в нее струй, стекающих с полевого откоса*). Из сказанного вытекает, что глубина нагорной канавы должна быть ограниченной, во избежание дорого-стоющих укреплений ее; обычно, за предел глубины берется 0,70 саж.

Это условие имеет огромное значение для проектирования нагорных канав, если они одновременно выполняют и другие функции, что встречается очень часто, как об этом сказано в своем месте. Его можно формулировать еще так: *нагорные или забанкетные канавы проводятся не только вдоль выемок и косогоров, но вдоль всякого рода канав и резервов, проведенных в размываемом грунте, если глубина их на значительном протяжении превышает 0,70 саж. и если желательно обойтись без укрепления откосов.* (см. „Деформации“ стр. 70). Исключение составляют балластные карьеры и вообще места, подлежащие дальнейшей разработке; вдоль них канавы прорываются только тогда, когда выработка вполне закончена.

При проектировании нагорных и забанкетных канав необходимо различить два случая, в зависимости от крутизны поперечного ската местности.

а. *Поперечный скат не выше 1/5.* Канава проводится параллельно верхнему ребру выемки, в расстоянии от нее до верхнего путевого ребра канавы не менее 2 сажень (со стороны будущего второго пути—четырех), причем промежуток между канавой и выемкой заполняется банкетом, чаще всего подсыпным. Уклон банкета делается: в сторону

*) Эта большая работа полевого откоса должна заставлять делать его и более пологим; поэтому, при глубине канавы до 0,50 саж. и достаточно хорошем грунте, можно путевой откос допускать одиночным, сохранив полевой полуторным. При глубине свыше 0,50 саж. следует признать одиночные откосы вообще недопустимыми, кроме, разве, очень крепких грунтов или крайне стесненного места; большая крутизна дается тогда, обычно, обоим откосам.

выемки — полуторный, причем подошва его находится в расстоянии 0,30—0,50 саж. от верхнего ребра выемки, а в сторону канавы—0,02—0,04, а лучше—еще круче, до 0,1, причем подошва банкета совпадает с верхним ребром канавы (черт. 90). Срезной банкет применяется гораздо реже, только в тех случаях, когда земля из канавы идет полностью в насыпь; устройство таких банкетов описано на стр. 30 „Деформации земляного полотна“ (см. там-же чертежи 15 а и б).

Чтобы получить банкет равномерной ширины, очень часто *разбивка нагорной канавы делается не по оси, а по путевой бровке*; при ровной местности это не дает сколько-нибудь резких изгибов оси канавы в плане.

Теоретический профиль канавы, как уже сказано выше, должен иметь глубину, постепенно возрастающую к устью; при почти горизонтальной местности так и следует делать, располагая высшую точку канавы примерно по середине ее и направляя уклон в обе стороны; глубина водораздельной точки достаточна в 0,10 саж.; продольный уклон следует задавать не менее 0,002, а лучше—больше, так как нагорные канавы не должны допускать никакого просачивания воды в выемку; до известной степени это просачивание должно быть парализовано замощением дна (*не дерновкой*), но наиболее рациональная мера для борьбы с ним—придать канаве хороший уклон, т.-е. не менее 0,004; важнее всего сказанное условие—в грунтах супесчаных и слоистых всякого рода, кроме каменистых.

Если местность имеет резко-выраженный продольный уклон, то глубина канавы чаще всего берется одинаковой по всей ее длине и уклон дна берется равным продольному уклону местности. Водораздельную точку канавы чаще всего удобнее избирать совпадающей с водораздельной точкой земли, причем глубина в ней может или равняться глубине канавы у выхода, или даже превышать ее, с тем, чтобы уклон канаве был придан более пологий, чем продольный уклон грунта; это имеет место тогда, когда продольный уклон очень велик, грунт—легко размываем, а канава собирает воду с большой площади.

б. *Крутые поперечные скаты (косогоры)*. При проведении нагорной канавы по косогору мы встречаем некоторые осложнения: самая канава требует больше работ, чем на ровной местности; устройство канавы ослабляет устойчивость косогора; наконец, банкет получает чрезмерно большую высоту. Все эти обстоятельства сказываются тем резче, чем круче косогор. На этом основании, нам приходится рассмотреть особо косогоры не слишком крутые (с поперечным скатом, примерно, до $\frac{1}{4}$) и более крутые.

На косогорах первой категории нагорные канавы проводятся в том-же, примерно, расстоянии от выемки, как и в ровной местности, но чаще встречаются отклонения канавы

в сторону, ибо ее лучше всего проводить по горизонтали; во избежание лишней работы, поэтому, правильное всего наносить проектировку нагорной канавы на поперечных профилях.

Грунт под банкетами обделывается уступами, в предупреждение сползания их, причем очень желательно дерновать путевой откос банкета, во избежание засорения ювета выемки осыпающимися и оплывающими частицами земли.

На очень крутых косогорах вдоль ребра выемки проводится лишь забанкетная канава, с возможно-малой глубиной; при чрезвычайной крутизне косогора, откосы этой канавы могут быть круче полуторных, с обделкой камнем или дерновкой торцом; в скалистом грунте, разумеется, подобной обделки не требуется. Банкета не делается совсем, но пространство между канавой и выемкой планируется, а если нужно, то и одерновывается.

Очевидно, что забанкетная канава вдоль косогорной выемки не может достаточно защищать последнюю от попадания сколько-нибудь значительного количества воды; эту цель выполняет *нагорная канава вдоль гребня косогора*, на устройство которой, к сожалению, часто обращается слишком мало внимания! А между тем, роль ее громадна, так как она не только защищает забанкетную канаву от попадания чрезмерного количества воды, но и самый косогор от размывания. Поэтому, упомянутая нагорная канава должна проводиться вдоль гребня крутых косогоров совершенно независимо от того, проходит-ли линия по косогору выемкой или насыпью.

Возможность перенесения всей задачи по недопущению воды к полотну на канаву, сравнительно далеко отстоящую от него, объясняется тем, что главная масса воды попадает именно с площади, расположенной выше косогора. Поэтому, канава вдоль гребня последнего должна иметь достаточные размеры, обязательно проверяемые расчетом.

К проектированию этой канавы относится полностью всё, сказанное о нагорных канавах на местностях с пологим поперечным скатом, так как она проводится уже вне косогора, верхний урез которого соответствует верхнему ребру выемки.

На обеспечение канав, идущих вдоль гребня косогора, хорошим продольным уклоном и надлежащим укреплением должно обращать особое внимание, так как просачивание воды из них в косогор может вызвать такие громадные сплывы, последствия которых крайне опасны для железной дороги.

В. Путевые канавы.

Путевые канавы, как сказано выше, устраиваются *вдоль насытей*, для отвода ливневой и снеговой воды; почти всегда они одновременно играют роль резервов, которая очень

часто является преобладающей; в зависимости от этого, мы рассмотрим два типа путевых канав; к ним обоим следует предварительно отнестись одно общее замечание: если размыв путевых канав и резервов столь-же недопустим, как и всяких канав вдоль выемок, то просачивание воды в грунт далеко не так опасно, как в последних; поэтому, продольный уклон во всяком грунте может быть ограничен 0,002 (но не меньше) и укрепление дна—не необходимо.

а) *Путевые канавы в собственном смысле* применяются там, где земля на насыпь идет по преимуществу или целиком из выемки, или там, где насыпь настолько невысока, что нет необходимости закладывать для нее широких резервов. Можно считать, что к этой категории относятся все канавы, имеющие ширину по дну до 0,5 саж., чем-бы эта ширина ни вызывалась—количеством-ли воды или потребностью в земле. Во всяком случае, наименьшая ширина ее берется в 0,20—0,7 саж., при обоих полуторных откосах.

Путевые канавы делаются с обеих сторон насыпи при поперечном скате до 0,005, при большей-же—лишь с нагорной, если только не требуется разобрать канаву с низовой стороны, как резерв. Расстояние от верхнего путевого ребра канавы до подошвы насыпи берется не менее одной саж. (а со стороны будущего второго пути—три саж.) и промежуток этот заполняется бермой, подсыпной или срезной, с уклоном верха ее в сторону канавы 0,02—0,04 (черт. 91 а, б). Разбивка всегда делается по путевой бровке.

Проектировка канавы производится совершенно так-же, как и нагорной, но нужно иметь в виду, что в путевую канаву очень часто попадает вода не только с поля, но и из кювета или нагорной канавы, если путевая канавка служит продолжением их; в связи с этим могут увеличиваться поперечные размеры и даже потребоваться укрепление.

б) *Резервы вдоль насыпей* отличаются от путевых канав и шириной по дну, и поперечным профилем. Ширина по дну, собственно говоря, не ограничена ничем; от нее же зависит и поперечный профиль. При ширине до 1,5—2 саж. поперечный профиль резерва только тем отличается от профиля канавы, что полевой откос допускается одиночным; при большей ширине дну резерва придается поперечный скат 0,01—0,02, идущий от подошвы путевого откоса или до подошвы полевого, или до середины резерва, куда в последнем случае направляется такой-же скат от подошвы полевого откоса; при подобном двускатном дне, в месте пересечения обоих скатов часто вырывается неглубокая одернованная канавка, что следует признать очень полезным, во избежание размыва дна резерва (черт. 92). Вообще говоря, на предупреждение размыва дна и откосов резерва обра-

дается слишком мало внимания, что иногда влечет за собой дорого стоящие работы и еще более дорогие претензии. Предупреждение размыва может быть достигнуто различными способами, но лучше всего—глубокие резервы с нагорной стороны ограждать забанкетными или нагорными канавами, выпускаемыми в резервы в пониженных точках, с надежно укрепленными выпусками (см. стр. 70 „Деформаций“); откосы резервов с очень легко размываемым грунтом следует укреплять. Против размыва дна наилучшая мера—вышеупомянутая канава по середине его, в которую должны впадать все боковые выпуски, естественные или искусственные.

Г. Осушительные каналы.

Канавы этой группы устраиваются небольшие, всегда с обеих сторон насыпи и отличаются от путевых тем, что предназначаются не только для отвода ливневой и снеговой воды, но и для отвода грунтовой воды из верхних слоев болота. Или, вообще, сырого грунта, служащего основанием насыпи. Их не следует смешивать с канавами-прорезами для более равномерной осадки насыпи на болоте („Деформации земляного полотна“, стр. 20). Характерные особенности осушительных канав, по сравнению со всеми остальными, следующие:

а) продольный уклон, по необходимости, берется очень часто менее 0,002 (но не менее 0,001);

б) между ними и полотном устраивается подсыпная берма, высотой не менее 0,20 саж. (черт 93);

в) резервом осушительные каналы могут служить только для бERM, но для насыпи—лишь в отдельных случаях (см. „Деформации“, стр. 13);

г) расстояние от подошвы насыпи теоретически то-же самое, как и в путевых канавах, но практически приходится считаться с тем, что при осадке болота под насыпью происходит выпучивание с боков, невероятно деформирующее осушительные каналы; поэтому, прорывать последнюю вблизи насыпи можно только на болотах неглубоких, или-же тогда, когда уже произошла сильная осадка насыпи (прорыв болотной коры). Если-же, почему-либо, нужно прорыть канаву на глубоком болоте до прорыва болотной коры (напр., для удобства работы), то ее надо отнести подальше от полотна (на 10—20 саж.) и впоследствии дополнить другой канавой, прорытой уже вблизи полотна, для непосредственного осушения местности около него.

Укрепления осушительные каналы не требуют, если они вырыты целиком в торфе, так как последний—почти не размываем; разве только при впадении в русло вынесенного сооружения, где торфа уже нет, приходится делать укрепления откосов и дна. Если-же канава (большею частью только

нижняя часть ее) проведена в ином грунте (иловатая глина, иловатый супесок), то укрепление откосов требуется почти всегда; дно не укрепляется, ввиду малости уклона. Откосы в торфу могут придаваться круче полуторных (до 1 : 1), в остальных-же грунтах, наоборот, пологость может потребоваться и бо́льшая (до 2 : 1), раз глубина канавы значительна. И укрепления, и бо́льшая пологость откосов в особо пропитанных водой илистых грунтах могут оказаться недостаточными, так что приходится прибегать к помощи дренажа. Нужно, впрочем, сказать, что случаи глубоких осушительных канав в иловатых грунтах редки.

Д. Предкавальерные канавы.

На стр. 34 „Деформаций земляного полотна“ указана особая важность осушения района вблизи тех выемок, вдоль которых расположены кавальеры. При нагорном расположении последних, сзади них обязательно вырывается нагорная канава с хорошим продольным уклоном, а вдоль путевой канавы кавальера, с какой-бы стороны он ни был расположен—канавы предкавальерная; эта канава должна быть абсолютно обеспечена от застоя воды, для чего ее продольный уклон следует делать не менее 0,006—0,008; так как это при длинных выемках на пологих местностях не всегда возможно, ввиду громадной глубины канавы, то при подобных условиях приходится прибегать к одному из следующих способов: или устраивать канавы с поперечными выпусками, или прибегать к устройству поперечных выпусков без канавы, или применять сплошной пологий скат в сторону выемки.

При устройстве канавы с поперечными выпусками, она делится на ряд коротких участков, имеющих скат в обе стороны от средней точки, служащей водоразделом; из образующихся, таким образом, пониженных мест вода выпускается: при нагорном расположении кавальера—в кювет выемки, при подгорном—или в кювет, или, что гораздо лучше, за кавальер, в коем тогда устраиваются прорезы (черт. 94). Выпуски дернуются или мостятся, причем там, где они идут по откосу выемки, мощение может считаться почти обязательным.

Ширина по дну предкавальерных канав, независимо от их длины, берется в 0,15—0,20 саж., при полуторных откосах; укрепление дна мостовой желательно, а в слабом грунте—обязательно. Расстояние верхнего ребра канавы, обращенного к кавальеру, до подошвы последнего берется в 0,20—0,40 саж. Между канавой и верхним ребром откоса выемки устраивается банкет, подсыпной или срезной; в последнем случае может быть применен французский тип канавы-банкета (черт. 15 б „Деформаций“).

Как выше было сказано, в некоторых случаях предкавальных канав можно вовсе не делать, ограничиваясь одними поперечными выпусками или обходясь и без них. В первом случае, пространство между кавальером и откосом выемки подразделяется на сравнительно короткие участки, каждый из которых планируется в виде косой плоскости, имеющей скат к границе соседнего участка и к откосу выемки (черт. 95); очевидно, что направление продольного ската у двух смежных участков различно. Поперечный скат с подгорной стороны может придаваться и в сторону кавальера, в котором тогда делаются прорезы.

Если не делается ни канавы, ни поперечных выпусков, то весь промежуток между кавальером и выемкой планируется с уклоном в сторону выемки не менее 0,04. Спланированное пространство дернуется сплошной дерновкой, которой обязательно защищается и откос выемки. Этот способ удобнее всего применять при глубоких выемках (с целью уменьшения давления на откос) или при большом поперечном скате местности (ввиду простоты планировки).

Е. Кюветы выемок.

Тип нормального кювета настолько общеизвестен, что не приходится останавливаться на описании его; следует только указать, что дно кювета должно или моститься или ничем не укрепляться, но только не дерноваться, во избежание засорения. Но от этого нормального типа довольно часто встречаются различные отклонения, на которых мы и остановимся:

а. *Кюветы выемок, расположенных на площадке*, должны иметь уклон не менее 0,002, а, следовательно, и переменную глубину. Если площадка расположена между уклонами, направленными в разные стороны, то и кювету придается уклон в обе стороны от середины площадки (хотя, конечно, в зависимости от условий профиля может быть принято и иное расположение водораздельной точки). В таких случаях, глубина кювета в водораздельной точке берется всего 0,10 саж. и от нее в каждую сторону ограничиваются на протяжении до 100 саж. уклоном 0,01, затем переходящим в 0,002; таким образом, нормальная глубина кювета (0,25 саж.) достигается лишь на расстоянии 125 саж. от водораздельной точки. Если длина площадки очень значительна, то далее глубина становится уже превышающей нормальную; пока она не достигает 0,50 саж., можно сохранить нормальный тип кювета, но когда эта глубина превзойдена, следует применять тип углубленного кювета или кювета раскрытой выемки (см. ниже).

Если площадка расположена между уклонами, направленными в одну сторону, то от начала площадки кювету,

при глубине 0,25 саж., придается уклон 0,02, который идет вдоль всей площадки и далее вдоль более крутого уклона до тех пор, пока глубина кювета не станет нормальной.

б. *Углубленные кюветы* проводятся в выемках с большим количеством ключей в откосах, спускаемых в кювет, при спуске в кювет значительного количества вод сверху откоса (с косогора, с предкавальерных скатов) и при значительной длине площадки в выемке; они имеют глубину 0,50—0,70 саж. и устраиваются или с обоими полуторными откосами, очень часто—мощными, или, во избежание чрезмерных земляных работ, с более крутыми откосами, соответственно укрепленными. Наибольшее сбережение земляных работ достигается при замене кювета лотком, деревянным или железобетонным (см гл. XII). Их устройство и содержание проще, чем иногда устраиваемых подпорных стенок из сухой кладки.

Если земля из выемки может быть использована в насыпь, то при углубленных кюветах лучше всего придавать выемке поперечный профиль разделки под насыпь (черт. 96 а и б).

в. *Кюветы скалистых выемок*, и, вообще, выемок с откосами круче полуторных, могут иметь меньшую площадь, чем кюветы выемок с полуторными откосами; площадь кюветов последней категории считается достаточной при любой длине выемки и глубине ее до 8-10 саж.; приняв глубину в 8 саж., полуширину полотна под 2 пути в 2,3 саж., и ширину пространства между верхним ребром откоса и ближайшей канавой, в предположении отсутствия банкета, в 4 саж., получим, что площадь нормального кювета, равная 0,13 саж., удовлетворяет скату с полосы, горизонтальная проекция коей имеет ширину $8 \times 1,5 + 2,3 + 4 = 18,3$ саж.; ширина этой полосы для одиночного откоса равна 14,3, для половинного—10,3 и для откоса в $1/10 : 1 = 7,1$; соответственно, площадь кювета может уменьшаться: при одиночном откосе до 0,1, при половинном—до 0,075 и при откосе в $1/10 : 1$ —до 0,05 (разумеется, во всех этих случаях предполагается, что вдоль выемки идет хотя-бы забанкетная канава); таким образом, профиль кювета выемки с скалистым грунтом при откосе, напр., $1/10 : 1$, будет представлять собой почти прямоугольник.

г. *Кюветы раскрытых выемок, т.-е. разбираемых, как резерв*, устраиваются так, что весь поперечный профиль полотна становится сходным с профилем насыпи (черт. 96-а), почему и сама выемка иногда называется „разделанной под насыпь“. Ширина бермы между кюветом и полотном берется не менее 0,50 саж.; при глубине выемки свыше 2 саж. полезно устраивать еще берму с наружной стороны кювета (черт. 96-б), шириной не менее 0,30 саж.; в крупно-песчаных грунтах эта внешняя берма может не делаться даже при очень большой глубине выемки. Наибольшие размеры

берм, равно как и ширина кювета по дну, соответствуют потребному количеству земли, подлежащей вывозке в насыпь. Если это количество не на много превышает объем выемки нормального типа, то разделка делается лишь с одной (нагорной) стороны; если же и этой земли много, то ограничиваются устройством бермы с наружной стороны кювета, без углубления его (черт. 97), причем выемка, конечно, уже теряет характер раскрытой.

Раскрытые выемки не только могут пропускать по своим кюветам гораздо больше воды, чем нормальные, но имеют ряд и других преимуществ: полотно их суше, так как глубина осушения вдвое больше нормальной, снеговые заносы для них менее опасны, а при устройстве бермы между кюветом и откосом — и устойчивость откосов больше. Второе из этих преимуществ иногда заставляет вводить разделку (раскрытие) выемки, как обязательную при малой глубине (до 0,3—0,5 саж.).

д. Совершенно особый профиль иногда имеют кюветы *косогорных выемок*, именно — в том случае, когда линией, идущей в выемке, засекаются небольшие низины, на которых проектировка дает насыпь. В этом случае, ввиду быстрого выклинивания низин, на них не устраивается искусственных сооружений, а они заполняются бермой, верхнее ребро которой примыкает не к откосу насыпи, как обычно это делается при насыпных бермах, а к ее бровке (черт. 98); берме придается поперечный уклон в 0,02, иногда и меньше (до 0,01) и горизонталь, по которой низовой конец бермы сопрягается с естественным грунтом, служит верхним ребром путевого откоса кювета, как видно из чертежа; очевидно, глубина кювета здесь меньше нормальной на величину li , где l — ширина бермы, i — ее поперечный уклон; но это не представляет никакой опасности, так как ниже бровки имеется обширный резервуар, дно коего образуется наклонной верхней поверхностью бермы. Проектировка кювета в этом случае обязательно наносится по поперечным профилям.

Аналогичный способ, но с бермой нормальной ширины, может быть применен и в том случае, если на довольно ровном месте очень неглубокая выемка засекает короткую низину, на которой имеется насыпь не выше 0,15 саж. высоту и 10—20 саж. длины. Однако, чаще всего здесь рациональнее устроить поперечный выпуск воды (см. гл. I) и только при отсутствии грунтовой воды допускается применение кювета вдоль насыпи.

Нечего и говорить, что во всех случаях возможность расположения кювета вдоль насыпи подразумевает необходимость наличия достаточной отводной канавы, так что в кювет попадает лишь самое ограниченное количество воды.

2. Канавы, одновременно служащие нагорными и отводными.

Если каждой из канав, идущих вдоль выемки, предоставить выполнять самостоятельные функции, то число их может достигнуть до четырех (нагорная, отводная, забанкетная или предкавальерная и кювет); в виду этого, сплошь и рядом нагорная и отводная канавы сливаются в одну, приближенную к выемке настолько, что не требуется и особой забанкетной канавы; таким образом, отвод *всей* воды вдоль выемки, как равномерно разливающейся, так и сосредоточенной в отдельных низинах, производится всего одной нагорно-отводной канавой, не считая кюветов, к которой, при наличии кавальера, прибавляется еще предкавальерная канава. Однако, здесь иногда может встретиться нужда и в дополнительной нагорной канаве, небольшой длины и глубины, защищающей от размыва полевой откос того участка главной канавы, глубина которой превышает 0,70 саж. Разумеется, не вдоль всякой глубокой канавы приходится рыть забанкетную канавку, а лишь в случае легко размываемого грунта и очень значительного количества притекающей с нагорной стороны воды, при большой длине глубокого участка. Пример расположения вспомогательной нагорной (или забанкетной) канавы вдоль главной нагорно-отводной канавы показан на черт. 99.

Проектирование и расположение нагорно-отводных канав производится совершенно по тем-же правилам, как и отводных; разница только в том, что земля из канавы обязательно выбрасывается на банкет. Трассировка может делаться и по оси канавы, и по путевой ее бровке, как у нагорной канавы.

3. Канавы, одновременно служащие отводными и кюветами.

В то время, как совмещение функций отводной и нагорной канавы встречается на каждом шагу, совмещение функций нагорной канавы и кювета встречается гораздо реже. Здесь мы можем рассмотреть два случая:

а). Выемка разделана под насыпь в силу какого-либо соображения (потребность в земле, малая глубина); здесь весьма естественно использовать кювет, отдаленный от полотна, и, следовательно, не угрожающий ему подмывом, как отводную канаву, благодаря чему расход на последнюю уменьшится до крайней степени. Главное внимание должно быть обращено на обеспечение входа воды в канаву, чтобы не могло произойти удара струи в полотно; необходимые предосторожности—те-же, что и при перехватывании ложбины любой отводной канавой, с той разницей, что вход относится возможно далеко в сторону и делается по очень поло-

гой, кривой; характерная особенность выпуска заключается в том, что дно канавы, совпадающей с кюветом раскрытой выемки, лежит много глубже, чем дно самостоятельной отводной канавы (черт. 100). В виду этого-то и важно отвести вход из ложбины в канаву возможно далеко, причем сопряжение той и другой может делаться или помощью уступа с водобойным колодцем, расположенного в начале отвода, или помощью довольно пологого перехода.

Много проще, разумеется, обстоит дело, если отводимая ложбина лежит в пределах не выемки, а насыпи, и кювет служит лишь продолжением отводной канавы, идущей вдоль насыпи (черт. 101); в этом случае, мы имеем дело с самым обыкновенным выпуском в отводную канаву.

Разумеется, поперечное сечение кювета должно соответствовать расходу воды, а укрепление его—ожидаемой скорости.

Соединение функций отводной канавы и кювета позволяет в некоторых случаях избежать искусственного сооружения (см. гл. I), если между двумя из последних разрабатывается выемка, как резерв.

б. Кювет, специально приспособленный для одновременного отвода воды из ложбины, может встретиться там, где устройство отдельной отводной канавы чрезмерно дорого, например, ввиду дороговизны отчуждения или ввиду чрезмерно дорогих земляных работ. Последнее встречается реже, так как почти всегда предпочтительнее сделать основательную засыпку отводимого оврага и перехватить канавой ложбину повыше, в такой точке, отметка которой не слишком разнится от отметки по оси канавы.

И здесь лучше всего применять тип раскрытой выемки, но это не всегда возможно; так, если причиной выпуска отводимой воды в кювет служит дороговизна отчуждения, то необходимо елико возможно с узить выемку, а раскрытием ее это не достигается. Разрушение выемки должно быть произведено в максимальном размере, воду приходится пропускать по кювету, не отделенному бермой от полотна, причем большая масса протекающей воды является серьезной угрозой последнему; поэтому, единственно правильным можно считать настолько прочное укрепление путевого откоса кювета-канавы, которое абсолютно гарантировано-бы целостность полотна; таким можно считать только каменную кладку на растворе или железобетон, которая лишь при очень малом количестве воды допустимо заменять мостовой или деревянным лотком. Применение каменной кладки и железобетона в данном случае имеет еще и то преимущество, что позволяет ограничить кювет вертикальной стенкой и, следовательно, уменьшить ширину выемки (черт. 102); дальнейший шаг в этом направлении заключается в том, что откос выемки на всю высоту поддерживается каменной или железобетонной подпорной стенкой.

В тех случаях, когда строитель не связан дороговизной или стесненностью отчуждения, *раскрытые выемки всегда предпочтительнее.*

II. Канавы, служащие одновременно нагорными и кюветами.

Вдоль всякой раскрытой выемки, независимо от того, работает-ли ее кювет только, как таковой, или и как отводная канава, следует устраивать нагорные или забанкетные канавы, чтобы защитить откосы. От этого возможно или необходимо отказаться в следующих случаях:

а) Глубина выемки невелика (не выше 1 саж. от дна кювета до верхнего ребра); здесь нагорная канава излишня потому, что ее присутствие почти не влияет на способ укрепления откосов;

б) грунт выемки—неразмываемый (каменистый); размер кювета не вызывает опасения в переполнении его, а потому и нагорная канава излишня;

в) отчуждение дорого или площадь, которая находится в распоряжении строителя, слишком узка; в этом случае уничтожение нагорной канавы компенсируется соответственным укреплением откоса и кювета, а при большой площади стока—и увеличением сечения кювета; последнее должно быть обязательно проверено расчетом, как, впрочем, и в обоих предыдущих случаях.

Что касается до выемок нормального типа, то в них совмещение функций кювета и нагорной канавы допускается лишь в случае дороговизны отчуждения или стесненной площади. Кюветы делаются углубленного типа, с соответственным укреплением, и на укрепление откосов всей выемки обращается особое внимание.

К. Путевые канавы и резервы, служащие одновременно отводными канавами.

Путевые канавы и резервы вдоль насыпей, заменяющие собой нагорные канавы, почти всегда одновременно выполняют и функции канав отводных, то сами по себе перехватывая воду из низины, то принимая воду из нагорно-отводных или отводных канав вдоль выемки.

а. В первом случае, против выпадающей низины обязательно устраивается подсыпная берма, доводимая до отметки смежных, ровных участков грунта. В плане эта берма может делаться различно, в зависимости от количества протекающей воды, ширины и глубины канавы или резерва. Если эта ширина не велика, то выпуск устраивается, как во всякой отводной канаве, по пологой кривой, которой соответствует и очертание бермы. При широком резерве, выпуск в

него из ложбины делается, поневоле, отдаленным от полотна и, потому, безопасным для его подошвы; поэтому, насыпная берма может иметь прямолинейное очертание и такую-же ширину, как и вдоль остальной насыпи.

При глубоком резерве, дно впускаемой канавы может выходить в резерв нулевой отметкой, так что вода разливается по нему; но если резерв очень мелок, то следует для отводимой воды устраивать по дну его особую канаву, располагая ее либо по середине резерва, либо ближе к его полевому откосу.

6. Когда путевая канава или резерв служит продолжением отводной или нагорно-отводной канавы, идущей вдоль выемки, то, разумеется, никаких особенностей выпуск воды не имеет, а только сечение и укрепление путевой канавы или резерва должны быть достаточными для пропуска всей протекающей воды. В данном случае, нужно обратить особенное внимание на плавность перехода в плане от канавы вдоль выемки к канаве или резерву вдоль насыпи; обычно, канава вдоль выемки делается от оси полотна на большем расстоянии, чем путевая или неширокий резерв; поэтому, струя воды, переходя из отводной канавы в путевую или резерв, имеет направление к полотну; чтобы это направление не сделать опасным, нужно возможно уменьшить угол, образуемый направлением струи с осью полотна или параллельной ей путевой канавы (резерва). С этой целью (черт. 103) переход устраивается в виде двух плавных кривых и расстояние между вершинами обеих соответствующих углов берется не менее $2a$, где a — расстояние между продолжением осей отводной канавы и путевой (резерва). При широких резервах (черт. 104) очень часто возможно отводную канаву направить по прямой, обычно — вдоль полевого откоса резерва; в этом случае, во избежание размыва, лучше прорыть по дну резерва, хотя-бы неглубокую, канаву, служащую непосредственным продолжением отводной, с укреплением ее дерновкой или мостовой.

2. Продольные спрямляющие русла.

При проходе по поймам небольших извилистых рек и ручьев, изгибы последних очень часто засекаются откосами полотна или подходят настолько близко к полотну, что угрожают ему опасностью размыва. Это может иметь место и при подходе к мосту (черт. 105), и там, где линия идет параллельно реке, так что на пойме иногда ложится только низовой откос насыпи (черт. 106). В обоих случаях необходимо отвести водоток в соответственном колене, что достигается устройством спрямляющего русла, направленного так, чтобы протекание воды в нем было совершенно

безопасно для полотна. Искусственное русло ни в коем случае не должно идти по прямой, а обязательно по пологой кривой, соединяющей два соседних колена, как показано на черт. 105 и 106. Ширина русла по верху берется соответствующей ширине уничтожаемого русла, и до уровня межені эта ширина сохраняется, уменьшаясь лишь на величину заложения откосов, но ниже межені совершенно незачем оставлять такое широкое русло, ввиду дороговизны подводного рытья; достаточно по середине вырытой части прорыть небольшую канаву шириной по верху в $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{5}$ ширины русла в уровне межені и вода при первом половодье сама разрабатывает русло настолько, насколько это требуется (черт. 107).

Старое русло засыпается в уровень с берегами и откосы насыпи, обращенные к воде, обязательно мостятся, защищаются фанинными тюфяками или кладкой, словом сказать — сильно укрепляются; желательно на несколько сажен от концов укреплять засыпку и сверху, хотя, конечно, не столь сильно. Помимо того, в пределах поймы вдоль линии отсыпается и защитная берма, более подробно описанная ниже (стр. 188 — 189).

3. Поперечные отводные каналы.

Там, где линия проходит вблизи гребня узкого водораздела, ее продольный профиль обычно представляет собой волнистую линию (черт. 108). Отвод воды из пониженных точек помощью продольной канавы обошелся-бы непомерно дорого, в случае большой разницы в отметках наиболее низкой и наиболее высокой точек профиля, а устраивать искусственные сооружения при ничтожном бассейне — нежелательно. Вот в этих случаях и могут принести пользу поперечные отводные каналы (черт. 109). Последние трассируются через низшую точку водораздела, притом верховье канавы берется на отводимом тальвеге в некотором расстоянии от подошвы насыпи, чтобы уменьшить работы (в выемках поперечные отводные каналы почти не встречаются); необходимо иметь в виду, чтобы отметка дна канавы у ее начала была по меньшей мере на 0,70 саж. ниже бровки полотна, а при большом количестве отводимой воды — и того больше. Эта начальная точка соединяется с водораздельной прямою линиею и за водоразделом канава направляется по кратчайшему направлению к тому логу, куда предполагается сделать выпуск воды; иногда всю канаву возможно расположить по прямой линии. Уклон придается в верховьях 0,002—0,003, редко больше, а к выходу почти всегда увеличивается, в зависимости от уклона местности. Поперечное сечение обязательно определяется расчетом, но, во всяком случае, ширина по дну должна быть не менее 0,30 саж., при полутор-

ных откосах; укрепление берется в зависимости от скорости и особое внимание должно быть обращено на укрепление выхода, во избежание размыва лога, куда вливается вода, ранее не попадавшая туда. }

Между началом канавы и подошвой насыпи устраивается берма различной ширины, с криволинейным очертанием; вдоль бермы проводятся все те продольные, отводные, нагорные и путевые канавы, которые вливаются в поперечную отводную, причем впадение это, как и всякое другое, должно быть сделано по пологой кривой. Высота бермы может быть очень различна, но, во всяком случае, такова, чтобы не могло быть затопления ее верха скопляющейся в низине водой; верхняя поверхность имеет уклон от 0,02 до 0,04, и в отдаленном от насыпи конце должна возвышаться не менее, чем на 0,30 саж. на дном канавы.

Если вдоль насыпи заложен очень широкий резерв, то в него стекают все окрестные воды, включая сюда и воду из продольных канав; естественно, что поперечная отводная канава выпускает из резерва всю эту собирающуюся воду. Благодаря ширине и поперечному уклону резерва, подошва полотна достаточно защищена, так что в данном случае не зачем делать криволинейной бермы; ее ширина не увеличивается по сравнению с естественной бермой вдоль всего резерва. Отметка дна канавы у ее начала берется совпадающей с отметкой резерва; для правильного стекания воды из резерва в канаву, верховье ее обделывается в виде раструба (черт. 110).

Кроме случаев водораздельного хода, поперечные отводные канавы иногда могут быть устраиваемы при ходе по узкой террасе с обратным поперечным скатом (черт. 111), а также при пересечении замкнутых водловин. В последнем случае, отвод может быть и с подгорной стороны (черт. 23 „Деформаций“).

ГЛАВА IX.

Водопропуски

(поперечные русла).

Всякое русло, естественное или искусственное, пропускает воду не только притекающую с его верховьев, но и подводимую канавами, идущими вдоль линии. Выше уже было указано, что при высоких берегах естественного русла впадающие канавы очень часто не доводятся до его дна и вода из них стекает широким, ровным слоем по откосам, подобно всякой ливневой и снеговой воде, притекающей в русло с его боков. Здесь, следовательно, не приходится заботиться о плавном сопряжении канав с руслом, необходимым, если встре-

чаются две сильных струи. Но если канава доводится до самого дна русла, то упомянутое плавное сопряжение необходимо; оно производится различно для канав, впадающих с верховой стороны насыпи и с низовой, причем в каждом из этих случаев следует различать широкие низины и узкие, глубокие овраги.

Проще всего устраивается впуск канав с подгорной стороны на широких низинах, где сопряжение с руслом делается помощью круговой кривой, радиуса не менее $10a$, причем a — ширина канавы по дну (черт. 112); в узких, глубоких оврагах кривая заменяется двумя коленами по 45° , из коих последнее образуется канавой и руслом (черт. 113); перепады, если таковые делаются, сосредоточиваются или выше верхнего колена, или на прямой между обоими коленами.

Для канав, впадающих с верховой стороны, дело осложняется тем, что для поворота оставляется лишь узкое пространство, соответствующее ширине бермы; поэтому, ограничиваться одной сопрягающей кривой возможно лишь в том случае, если канава настолько отдалена от полотна, что радиус сопряжения равен $10a$; при этом еще должно быть соблюдено условие, чтобы перед входом в искусственное сооружение оставался прямой участок, длиной не менее 2ϵ , где ϵ — ширина русла по дну. Немудрено, что при соблюдении таких требований, по большей части, приходится придавать плану канавы у входа очертание в виде двух обратных кривых (черт. 114); из них кривая АВ должна иметь радиус не менее $20a$, тогда как ВС — $10a$. Расстояние CD, т.-е. длина прямого участка между тангенсом кривой ВС и входом в искусственное сооружение, должно быть не менее 2ϵ .

При узких, глубоких оврагах обратная кривая АВ делается в значительном расстоянии от русла, а именно — вне пределов оврага и там-же делается часть кривой ВС, благодаря чему к оврагу канава подходит достаточно отодвинутой, в направлении, примерно, перпендикулярном к оси русла, (черт. 115); это же направление она сохраняет при спуске по скатам оврага, где располагаются и все перепады, почти всегда устраиваемые в таких случаях. От последнего перепада вода подводится к руслу помощью кривой или двух колен по 45° , при соблюдении двух условий: чтобы после перепада был прямой участок, длиной равной $1\frac{1}{2}$ длинам его нижнего уступа (водобойного колодца), и чтобы перед сооружением сохранялся прямой участок, равный 2ϵ при сопряжении по кривой и $2(a+\epsilon)$ — при сопряжении помощью двух углов.

1. Разделанные или разработанные русла.

Разработка естественных русел, т.-е. уширение и углубление их, а иногда и частичное спрямление, применяется

для того, чтобы обеспечить водной струе плавный переход из естественной части водотока к искусственному сооружению и обратно. В зависимости от местных условий, способ спрямления может быть различный.

А. Глубокие узкие овраги. Здесь чаще всего искусственное сооружение имеет отверстие лишь немногим большее, чем ширина оврага по дну; углубление русла или не делается, или делается очень малое, так как уклон оврага чаще всего весьма значителен. Разделка сводится к уширению только нижней части оврага и к срезке выступов в плане, если они располагаются в непосредственной близости к искусственному сооружению. Так как откосы оврага, обычно, весьма круты, то на высоту срезки их укрепляют мостовой (при более пологих откосах — дерновкой). Ввиду малой разницы в ширине оврага и отверстия, участок, обеспечивающий плавность перехода водной струи, берется возможно коротким; вообще, можно считать, что в данном случае разработка на полную ширину, соответствующую отверстию, берется до того места, где в русло впадают путевые каналы, а далее начинается постепенный переход к естественной ширине русла, делаемый в 3 — 5 саж. длиной, редко больше.

Б. Овраги с большой шириной по дну. При большой ширине оврага, отверстие сооружения чаще всего оказывается меньше ее; отметка наиболее пониженной точки сооружения (дно лотка) всегда делается ниже отметки тальвега. Разработка русла в плане делается по чертежу 116, причем углы А заполняются бермами; длину прямого участка *бг* следует брать не менее 2 *l*, где *l* — отверстие (при раструбном оголовке трубы, как и всюду ниже — наибольшее расстояние между крыльями). Длина скошенного участка берется так, чтобы угол *абг* был не более $26-27^{\circ}$, т.-е. должна быть не менее, чем $L-l$, где *L* — ширина лотка по дну.

Приблизительно на этой же длине разгоняется и уклон дна; в соответствии с углублением русла длина участков *бв* и *бг* может значительно увеличиваться, так как желательно сопряжение уклона нового с существующим сделать именно на линии *бг*.

В. Водотоки без ясно выраженного русла встречаются чаще всего в тех местах, где линия идет по верху косогора, засекая воронковидные верховья оврагов; в этих случаях, задача строителя заключается в том, чтобы направить воду по определенному руслу, которое берется шириной, соответственной отверстию сооружения; это русло, очевидно, всегда углубляется против отметки естественного дна и сопрягается с последним в виде расширяющейся к верховьям воронки (черт. 117). Длина прямого участка берется очень небольшой, так, чтобы в его пределах только умещался вы-

ход канав. Воронковидный вход лучше всего очерчивать по дуге круга, радиус которого, разумеется, зависит от местных условий. Скаты воронки приходится делать довольно крутыми, так как и местность, обычно, имеет значительный скат, но ввиду малого количества воды опасности здесь нет и укрепление воронки очень часто можно ограничить дерновкой.

Г. *Водотоки в виде канавы.* Этот вид водотоков очень часто встречается на болотах или сырых лугах, а равно на искусственно-орошаемых полях; отверстие искусственного сооружения всегда больше ширины канавы по дну или равно ей (главным образом, оросительные канавы, реже — осушительные). Сопряжение разработанного русла с канавой ясно из черт. 118 а и б; длина прямых участков со стороны входа или выхода берется не менее 2l; длина переходных участков берется не менее $l - L$, причем углы перехода, как и в случае б, должны быть скруглены; при несколько косом пересечении (черт. 118-а) длина $l - L$ должна придаваться наиболее коротким участкам прямых берегов русла; если этого сделать нельзя, то приходится прибегнуть к устройству искусственного русла (см. ниже); то же самое относится к случаям а и б.

Д. *Пересечение речных пойм* отличается от предыдущего случая только тем, что мы имеем дело с водотоком, несущим значительное количество воды и требующим большего отверстия, благодаря чему полная разработка русла ниже уровня меженных вод была бы слишком дорогой; поэтому, при пропуске под мостом значительной речки или реки, ограничиваются лишь срезкой, на всю ширину отверстия, земли до уровня межи, причем длина прямого участка берется, для уменьшения работ, равной не l , а заложению откоса насыпи $+n$, где n равно 2 — 3 саж.: длину переходного участка лучше всего брать равной $l - L$, но в крайнем случае можно уменьшить до $\frac{l-L}{2}$, что соответствует углу в 45° *)

2. Искусственные и спрямляющие русла.

Искусственные русла устраиваются или там, где сооружение устанавливается вне тальвега, или там, где ясно выраженного тальвега не существует. Все случаи устройства искусственных русел могут быть сведены в следующие категории:

*) Подобные допущения могут делаться и в предыдущих случаях, но они не особенно желательны, так как значение правильной обделки русла малых водотоков гораздо больше, чем больших, ибо в первом случае в русло вмещается вся вода, а во втором вода идет по пойме и в русло вмещается лишь ничтожная ее часть.

А. Глубокие овраги. Устройство сооружения вне тальвега может вызываться или условиями грунта, или косиной пересечения (черт. 119-а), или пересечением в таком коротком колене оврага, что вход и выход из него в сооружение невозможен при оставлении на тальвеге (черт. 119), или, на конец, желанием уменьшить высоту насыпи у сооружения (гл. III, отд. 2). Во всех этих случаях, особенное внимание приходится обращать на сокращение земляных работ, иногда достигающих очень значительных размеров при прорытии глубокого русла, т.-е., другими словами, сокращать длину последнего, посколькоу возможно. Это относится не только к руслам у сооружений, вовсе вынесенных за пределы оврага, но и к руслам у сооружений, вынесенных на берега данного оврага (черт. 120), так как и в последнем случае срезка откосов оврага при прорытии русла может дать очень значительные земляные работы.

В плане форма искусственного русла может быть двоякая: с обратными кривыми (черт. 119-а) и без них (черт. 119-б). В обоих случаях длина прямых участков у входа и выхода в сооружение должна быть не менее l , и, во всяком случае, не менее 2 саж.; радиус кривых должен быть не менее $5l$, где l — ширина русла по дну в пределах данной кривой (при переменной ширине — наибольшая); прямой вставки между обратными кривыми не требуется. Соответственно с требованием минимальных работ, сооружение должно быть настолько близко придвинуто к естественному руслу, насколько позволяют условия грунта и рельефа местности, а также — только что указанные нормы прямых и кривых; там, где можно прорыть русло с той или другой стороны тальвега (черт. 119 а) следует избирать менее высокую сторону, если, конечно, это позволяют условия грунта.

Ширина русла по дну берется равной l лишь в пределах прямого участка, а далее она суживается до ширины естественного лога на протяжении $l-L$. Если $L > l$, то ширина русла берется равной l , и только у соединения с естественным руслом она расширяется на протяжении $L-l$.

Уклон русла имеет существенное значение для объема земляных работ и в своем месте (гл. III, отд. 2) было уже указано, что иногда можно этот уклон делать меньшим естественного; но к этому уменьшению уклона нужно относиться очень осторожно, чтобы не вызвать отложения осадков в сооружении и, потому, где последних много, лучше отказываться вовсе от уменьшения уклона. На стр. 6, 8-72 уже были приведены те требования, которые необходимо должны быть выполнены при допущении уменьшенного уклона и повторять их мы не будем. Следует только указать, что иногда уклон поневоле приходится уменьшать против естественного, благодаря удлиннению искусственного русла, но подобное уменьшение не играет особенной роли, ввиду его незначительности,

а неизбежность заставляет мириться с ним; если бы оказалось, что удлинение вызывает очень резкое изменение уклона, то следует произвести и в пределах естественного русла углубление тальвега на некоторую длину, которая позволила бы увеличить уклон искусственного русла.

Б. *Водотоки в виде канав.* Сюда относится наиболее многочисленная группа водотоков, так как в нее входят: естественные узкие рывины или ручьи по дну широких оврагов и низин, осушительные каналы по болотам и лугам, сделанные еще до постройки линии, и, наконец, каналы, сделанные при постройке линии по дну широких оврагов, низин и болот и пропускаемые под искусственные сооружения. Наиболее общий случай, охватывающий собой все приведенные, предполагает наличие двух канав, параллельных линии, и юдной или нескольких, направленных к последней под углом. Устройство искусственного русла вызывает-ся различными причинами: полным отсутствием естественного русла, направлением последнего под углом к линии и, наконец, необходимостью выноса сооружения ввиду плохого грунта. В первых двух случаях, расположение искусственного сооружения более или менее произвольно, в третьем—оно определено качеством грунта. Рассмотрим все три случая отдельно.

а) *Естественного русла нет вовсе.* Место для сооружения выбирается, по возможности, в середине низины или на ее наиболее пониженной точке; иногда, впрочем, перемещая сооружение ближе к одному концу низины, возможно получить значительную экономию при рытье выходного русла; в таком случае, это обстоятельство следует использовать, если только местность позволяет придать достаточный уклон путевым канавам, впадающим в сооружение. Где-бы последнее ни было расположено, нам приходится заботиться только об устройстве выходного русла, так как входным служат путевые каналы. Из черт. 121 а видно, каким именно образом производится выпуск последних в сооружение.

Участок Г между обоими парами кривых лучше всего срезать пологим скатом, облегчая этим попадание притекающей воды в сооружение. Выходное русло ничем не отличается по внешнему виду и размерам от канав, причем, разумеется, ширина его и укрепление зависят от расчета; уклон, обычно, приходится брать очень небольшим, во избежание лишних работ по рытью русла. Нормально этот уклон не должен быть менее 0,002, но в болотах его иногда приходится уменьшать до 0,0015—0,001. Это относится и к двум следующим случаям.

б) *Естественное русло направлено под углом к линии, отличающимся от прямого.* Сооружение располагается так, чтобы со стороны входа к нему подходил довольно длинный

прямой участок (черт. 121б); сопряжение искусственного русла с естественным делается помощью пологих кривых, причем, благодаря равнинной местности, радиус возможно задавать значительно большим, чем указано в пункте А (Искусственные русла при глубоких оврагах). Ширина русла постепенно сужается до естественной также на несколько большей длине, чем при глубоких оврагах.

Старое русло обязательно засыпается на участках СА и АВ, а участок ВD может оставаться незасыпанным.

в) *Русло вынесенного сооружения.* В этом случае чаще всего русло на участке ABCDE (черт. 121в) совпадает с путевой канавой; однако, иногда участки АВ и ED, вместе или порознь, могут быть самостоятельны, направляясь по линиям G'A'B и DE'F'. Это имеет место тогда, когда уклон естественного русла очень мал и, чтобы не врезаться слишком глубоко выходным руслом, приходится сокращать расстояние между входом в искусственное входного русло (G или G') и искусственным сооружением (C) или между последним и концом выходного русла (F или F'). Относительно глубины русла, его уклона и радиусов сопрягающих кривых приходится сказать то-же самое, что и для обоих предыдущих случаев.

Участки старого русла HF, HG и GG' засыпаются обязательно.

В. *Русла на речных поймах.* Искусственные русла здесь приходится делать в силу одной из трех причин: извилистости естественного русла, косою пересечения и плохого грунта. В зависимости от этого, изменяется проектировка русла в плане, но все остальные условия проектировки остаются одинаковыми, а именно: ширина русла берется равной ширине меженного естественного русла и только под мостом делается уширением до полного отверстия его (см. выше, отд. 1, Д). В пределах этой ширины, русло разрабатывается только до глубины меженного горизонта, а ниже его прорывается лишь узкая канава с крутыми откосами, глубиной 0,20—0,60 саж., в зависимости от глубины реки и качества грунта (при песчаном грунте глубина меньше, при глинистом—больше); уклон руслу и канаве придается незначительный, соответствующий естественному уклону меженных вод.

Что касается до проектировки в плане, то в случае косою пересечения или наличия плохого грунта, она вполне совпадает с проектировкой по черт. 121б и в (по второму варианту). Если-же прорытие искусственного русла вызывается извилистостью естественного русла, то сооружение, поскольку это позволяют условия грунта, ставится против прямого колена у входа (черт. 122а); если таких колен несколько, то следует выбирать такое, против которого имеется соответствующее колено и выходного русла (черт. 122б).

ГЛАВА X.

Водоотводные планировки

(бермы, банкеты, насыпки).

1. Бермы.

Слово „берма“ обозначает уступ между двумя откосами, обращенными в *одну сторону*; так как подобные уступы могут образовываться при самых различных условиях и различным способом, то нам приходится вводить известную классификацию их. Не касаясь берм по откосам выемок и насыпей, устраиваемых для обозначения устойчивости их (см. „Деформации“, стр. 8, 29), здесь мы остановимся лишь на бермах, отделяющих подошву откоса насыпи от верхнего ребра путевого откоса канавы или резерва, идущих параллельно пути. В простейшем случае, если местность не имеет сколько-нибудь заметного поперечного ската, или скат этот идет в сторону от насыпи, то в какой-нибудь обделке промежутка между насыпью и водоотводом нужды не встречается; этот промежуток будем называть *естественной бермой*. Если местность имеет скат к насыпи, то необходимо сделать его *обратным*, к канаве или резерву; в том случае, когда берега последних достаточно высоки, чтобы вместить в себе всю протекающую воду, наша цель может быть достигнута как путем подсыпки (черт. 91 а), так и путем срезки (черт. 91 б), соответственно чему получается *простая-подсыпная* или *срезная берма*. Если берега резерва или канавы настолько низки, что протекающая в них вода может попасть на берму, то ее необходимо поднять путем подсыпки (черт. 123), образуя *повышенную берму*. Наконец, могут быть случаи, когда окружающая местность затоплена водой постоянно (озера, староречья) или временно (поймы рек, болота) и воду эту мы отвести не можем; тогда нам необходимо защитить насыпь от насыщения водой и создать для части ее, подтвержденной насыщению, достаточный контрфорс, что достигается помощью *защитной бермы*, устраиваемой совершенно независимо от поперечного ската местности; верх такой бермы возвышается над уровнем самых высоких вод и самого сильного волнения. Защитные бермы, как явствует из самого определения их, относятся к защитным сооружениям, при описании которых и рассматриваются. В настоящем же отделе мы займемся лишь бермами, относящимися к разряду водоотводных планировок.

Во всех тех случаях, когда линия проходит по довольно ровной местности, не пересеченной глубокими лож-

бинами, ребро путевого откоса канавы или резерва проводится на одинаковом разстоянии от подошвы откоса насыпи, т.-е. берма имеет постоянную ширину. Но, как мы видели выше, если линия засекает довольно глубокия ложбины, на которых не устраиваются искусственные сооружения, то отводная канава отодвигается от линии, так что получается *уширенная берма*; это делается с целью уменьшения работ, а в той ложбине, откуда отводная канава начинается, и с целью создания более плавного (в плане) выпуска воды в нее. Очевидно, что если нам нужно много земли, то заботиться об уменьшении работ в канаве, служащей резервом, не придется. Поэтому, уширенные бермы не встречаются у высоких насыпей, а чаще всего — у невысоких коротких насыпей. Наконец, при подходе к искусственному сооружению, приходится придавать бермам различную форму в плане, соответствующую очертанию русла и впадающих в него канав.

А. Бермы постоянной ширины могут быть естественными, срезными и подсыпными, причем последние — как простыми, так и повышенными.

Цель естественной бермы заключается в том, чтобы не допустить, с одной стороны, подмывания откоса насыпи водой, протекающей по резерву или канаве, а с другой — чтобы предупредить засорение последних землею, обваливающейся с откоса насыпи. Наконец, берма предохраняет путевые откосы водоотводного сооружения от чрезмерного давления со стороны насыпи, могущего вызвать обрушение этого откоса. На основании всех этих соображений, ширина бермы, обычно, принимаемая у нас, т.-е. 1,5 сажени, должна считаться преувеличенной; даже допущенная в последнее время ширина в 1 саж. может быть без ущерба для устойчивости полотна уменьшена до 0,50 саж.

Если приходится придавать берме обратный уклон, сводя ее на нет к канаве или резерву, (черт. 91 *а* и *б*), то чаще всего прибегают к устройству подсыпной бермы, так как оно очень просто, а ничтожное количество земли, потребное для него, всегда можно найти.

Срезная берма допускается лишь в том случае, если земля из нее довольно хороша, чтобы пойти в насыпь, и с выгодой может применяться в двух случаях: *а*) когда желают использовать с нее хороший дерн и *б*) при очень крутом поперечном скате местности, так как в последнем случае количество земли, получаемое с бермы, довольно значительно и берма может быть использована как резерв; помимо того, вывозка из резерва в насыпь через срезную берму при крутом поперечном скате местности легче, чем без нее.

Ранее уже было указано, что берма, подсыпная или срезная, должна иметь поперечный уклон 0,02 — 0,04; продольный ее уклон соответствует уклону местности и, потому, в отдельных случаях, если местность очень волнистая

(точнее, бороздчатая) возможно поочередно применять подсышные и срезные бермы.

Чаще всего, при волнистой местности, равно как и на местности, пересеченной отдельными неглубокими низинами, в наиболее низких точках приходится устраивать повышенные бермы, устройство которых вполне ясно из черт. 123. Верх такой бермы должен находиться на одном уровне с верхом смежных простых берм, каковы-бы они ни были: естественные, срезные или подсышные. Откос повышенной бермы, если он подвержен размыванию водой, притекающей в резервы или каналы, должен быть укреплен, но чаще всего без этого можно обойтись.

Б. Уширенные бермы делаются исключительно подсышными, и чаще всего — повышенными; это последнее объясняется тем, что повышение бермы позволяет уменьшить глубину канавы и отодвинуть ее от линии на более значительное расстояние. При описании отводных канав было уже достаточно сказано об устройстве уширенных берм и здесь мы напомним только, что очертание их в плане должно идти по плавным кривым, облегчающим удобное протекание воды вокруг бермы; при значительной высоте последней, откосы иногда приходится укреплять, хотя-бы дерновкой.

Отметка верха бермы должна быть в низком конце выше горизонта воды в смежной канаве или ложбине, а в верхнем — ниже отметки бровки насыпи хотя-бы соток на 30. Этими данностями, равно как и поперечным уклоном бермы (0,02 или меньше и определяется ее возможная ширина, а, следовательно, и возможное отодвигание канавы от линии, причем, однако, глубина канавы может быть увеличена и соответственно понижен горизонт воды и вместе с ним — и отметка верха бермы.

В несколько иных условиях находятся бермы, вокруг которых проходят кюветы на косогорах (стр. 166), где отметка канавы и верха бермы у полотна совершенно определены; здесь берма начинается с отметки, *равной отметке бровки.*

Всем уширенным бермам, для возможности увеличения глубины канавы или для повышения полевого откоса бермы, может быть придаваем менее крутой поперечный уклон, чем бермам постоянной ширины, но, во всяком случае, не менее 0,01.

В. Бермы у искусственных сооружений очень часто относятся к типу защитных, а именно там, где искусственные сооружения расположены на затопляемой пойме или болоте; подобные бермы рассмотрены в главе XI (отделы 1 и 2 А). Здесь же мы будем говорить только о бермах у водотоков, не образующих поймы и не протекающих по болоту. Бермы должны считаться обязательными у искусственных сооружений, расположенных и на таких водотоках, так как, ввиду подпора, вода может не поместиться в рус-

лах и подводящих канавах. Проектировка делается различной, в зависимости от того, доходят ли боковые каналы до самого русла или нет. Первый случай имеет место чаще всего там, где овраг или лог, на котором построено искусственное сооружение, неглубок; здесь берма делается горизонтальной, с отметкой выше подпорного горизонта примерно на 0,10 саж., и в плане ей придается очертание, concentрическое очертанию канавы с одной стороны и русла с другой (напр., А на черт. 117). Бермы устраиваются лишь со стороны входа, а со стороны выхода — только в том исключительном случае, когда естественная берма имеет скат к насыпи.

При глубоких оврагах с крутыми скатами канавы чаще всего не доводятся до дна тальвега, а прерываются значительно выше, причем, во избежание размыва, если этого требуют условия грунта и количество воды в канаве, по откосу делается укрепленный лоток или водобойный колодец (а иногда и несколько). В этом случае берма должна иметь у русла отметку, превышающую подпорный горизонт на 0,10 саж.; если же русло настолько глубоко, что берег выше этой отметки, то берма должна сходиться к нему на нет. У верха оврага отметка бермы должна соответствовать отметке земли, а между этими крайними отметками верх бермы должен идти ровным наклоном (чертеж 124-а), обязательно возвышаясь соток на 10—30 над землей, причем в случае значительной ширины оврага по дну, допускается перелом по середине (чертеж 124-б). Хотя бермы этого типа устраиваются преимущественно со входной стороны, но и с низовой они встречаются гораздо чаще, чем бермы предыдущей категории. Действительно, здесь от устройства бермы с низовой стороны можно отказаться лишь в том случае, когда овраг идет раструбом, т.е. скаты его определенно направляют воду от сооружения. Низовую берму можно делать очень невысокой.

2. Банкеты.

В отличие от берм банкеты представляют собой площадки между двумя откосами, направленными в разные стороны; обыкновенно, банкеты устраиваются вдоль нагорного откоса выемок, но не исключено применение их и при насыпи. Последнее имеет место в том случае, если выемка пересекается скоро-выклинивающимся логом, на котором профиль представляет собой насыпь без искусственного сооружения.

Цель банкетов заключается только в том, чтобы недопустить к откосу выемки воду, а потому они устраиваются только с нагорной стороны (при отсутствии поперечного ската — с обеих) и обязательно имеют скат, направленный от

выемки. Таким образом, понятия „естественный банкет“ не может быть.

Подобно тому, как бермы делятся на имеющие постоянную ширину и уширенные, банкеты могут быть разделены на имеющие нормальную ширину, называемые в дальнейшем для сокращения *нормальными*, и *уширенные*. Термин „имеющие постоянную ширину“ не подходил-бы к банкетам, как общее понятие, потому что всякого рода канавы проводятся вдоль выемок довольно безотносительно к очертанию верхнего ребра их откоса, а потому ширина банкета постоянно колеблется в небольших пределах. Когда же эта ширина довольно резко увеличивается, мы имеем дело с уширенным банкетом; кстати сказать, все банкеты у насшей относятся к последним.

А. *Нормальные банкеты*, хотя могут быть подсыпными и срезными, но у нас почти исключительно встречаются подсыпные; это и понятно, так как срезной банкет обладает двумя недостатками: отделка его труднее и он обнажает грунт от естественного дернового покрова, благодаря чему облегчается растрескивание грунта, со всеми его нежелательными последствиями. Во всяком случае, если почему-либо допущен срезной банкет, то его необходимо одерновать, за исключением лишь сухих крупнопесчаных грунтов, единственных, где срезной банкет допускается абсолютно.

Цель банкета — не допустить воду в выемку из промежутка между ней и нагорной канавой; поэтому, его следовало-бы начинать сейчас-же у верхнего ребра выемки, но этому препятствует опасение засорить кювет землей, осыпавшейся с банкета. Поэтому, при небольшом поперечном скате местности, путевая подошва банкета должна отступать на 0,30—0,50 саж. от верхнего ребра выемки (черт. 90). При разстоянии от последнего до нагорной канавы в 2 сажени и при поперечном скате местности в $\frac{1}{10}$, высота гребня банкета очень невелика, даже при уклоне его верхней поверхности, обращенной к канаве, в 0,1, а именно—0,25 саж. Разумеется, давление от такой невысокой насыпи несколько не может нарушить сцепления частиц в откосе выемки. Если местность имеет крутой поперечный уклон, то давление от банкета увеличивается весьма мало; так, если величина поперечного уклона $\frac{1}{3}$, то при наклоне верхней поверхности банкета в 0,1 и отступе его подошвы от верхнего ребра выемки в 0,3 саж., высота гребня банкета будет 0,31 саж.; но, зато, в этом случае длина откоса банкета, обращенного к выемке, будет 1,2 саж., благодаря чему возможно оплывание его в кювет, не говоря уже о том, что по крутому скату возможно скольжение в выемку всего банкета. Наконец, при скате в $\frac{1}{3}$, из всей площади между нагорной канавой и выемкой лишь немногим больше трети будет обращено в сторону нагорной канавы, тогда как при поперечном скате в $\frac{1}{10}$ —почти две трети. На этом ос-

новании, банкеты, расположенные на крутых косогорах, должны подчиняться особым правилам; прежде всего, поверхность под ними должна обделываться уступами, затем — откос, обращенный к выемке, задерновываться или хотя бы обсеиваться. Если же поперечный скат местности настолько крут, что меньше половины площади между выемкой и канавой может получить сток в последнюю, то банкета устраивать совсем незачем. Так как для банкета с дернованным откосом можно допустить даже при большом поперечном скате приближение его подошвы к ребру выемки на 0,30 саж., то поперечный скат, выше которого банкет может уже считаться излишним, равен $\frac{1}{5}$ для банкетов с уклоном верха в $\frac{1}{10}$ и $\frac{1}{4}$ для банкетов с уклоном 0.02—0.04, при расстоянии канавы от выемки в 2 сажени, так как тогда гребень банкета делит это расстояние пополам.

Б. Уширенные банкеты. к очертанию которых относится всё, что сказано об уширенных бермах (включая сюда и допущение более пологого поперечного уклона — до 0,01), поневоле устраиваются довольно значительной высоты, а, потому, укрепление их откоса, обращенного к выемке, обязательно почти всегда. Особенно неустойчивыми уширенные банкеты могут оказаться в том случае, если на засекаемой ими низине имеются ключи; раз такое явление имеет место, то необходимо по дну низины уложить дренаж, выпускаемый в выемку и отводимый оттуда помощью лотка, и только при самом ничтожном количестве воды — помощью обыкновенного кювета; возможен выпуск и помощью продольного дренажа типа Дэгрмона.

На основании уже изложенных ранее соображений, уширенные банкеты на крутых косогорах устраивать не желательно и часто бывает более рациональным вовсе отказаться от них, предоставив воде стекать в кювет, если ее очень немного и выемка очень коротка, или устроить небольшое искусственное сооружение. В последнем случае, очевидно, не потребуются и отводной канавы.

3. Засыпка оврагов.

Засыпка оврагов представляет собой частный случай уширенных банкетов, несравненно реже — берм, отличающийся лишь чрезвычайно большою шириною засыпки. Другими словами, засыпка оврагов встречается при пересечении ложбин или неглубоких логов с пологим уклоном дна, или очень глубоких — с крутым. Обычный способ выпуска воды из засыпаемой низины — помощью канавы, ее обводящей, и банкета или бермы, имеющих скат от насыпи, здесь неприменим, так как при большой длине засыпки происходит потеря уклона канавы, вызывающая крупные работы, и получается чрезмерно высокий банкет или берма. По-

этому, здесь применяются иные способы водоотвода, различные в зависимости от того, может-ли быть засыпаемый овраг принят за водораздельную точку отводных и нагорных канав или нет.

В первом случае, с каждой стороны оврага проводится канава, более или менее параллельная ему, по той горизонтали, которая обеспечивает минимум земляных работ; не доходя линии, каждая канава поворачивает параллельно ей и далее проводится, как обыкновенная отводная канава (черт. 125а); засыпка оврага, в тех пределах, где канава идет параллельно ему, имеет поперечный скат к обоим канавам (черт. 125б); направление продольного ската безразлично, там-же, где канава поворачивает параллельно пути, засыпка принимает вид обыкновенного банкета или бермы, имея скат обратный от линии (черт. 125в) и не положе 0,1.

Если засыпаемый овраг не может быть избран за водораздельную точку, то, во избежание потери уклона и чрезмерного углубления канавы, последняя пересекает его *насыпью*. Канава здесь не отводится в сторону, а пересекает овраг по прямой линии и засыпка имеет с обеих сторон канавы уклон к ней (черт. 126). Во избежание просачивания воды сквозь канаву, желательно придать ей при пересечении с оврагом довольно крутой уклон и совершенно необходимо обделывать дно и откосы утрамбованной глиной, с очень тщательным замощением.

Засыпку оврагов можно рекомендовать только в том случае, если в их дне и откосах (по крайней мере, ниже уровня засыпки) не встречается ключей или признаков грунтовых вод; эти признаки, вообще, нетрудно заметить при проектировании водоотводов, поверхностных или углубленных; сюда относятся: топкие места, сырость, выступающая на обнаженном грунте, и особенно—произрастание болотных трав, легко отличающихся по их более светлой зелени и жестким листьям. Раз можно думать, что в овраге имеются грунтовые воды, то они, несомненно, будут вредно действовать на нижележащее полотно, и, потому, лучше всего—отвести их; если мы сделаем отвод помощью тех или иных дренажей, то нам придется делать две параллельные работы—дренирование для грунтовых вод и засыпку с канавами—для поверхностных. Поэтому, может оказаться более экономичным устройство искусственного сооружения малого отверстия с углубленным руслом (стр. 11) для пропуска воды как грунтовой, так и верховой, а технически—это, несомненно, самое правильное решение.

4. Засыпка ям, русел и т. д.

Засыпка замкнутых пространств, вроде ям, прудов и т. д., производится с целью предупредить застой воды, которая, просачиваясь в грунт, могла-бы вредно повлиять

на устойчивость полотна и его откосов. Поэтому, особое значение имеет засыпка вдоль выемок, где она должна производиться в пределах всей полосы отчуждения, а, иногда, и вне ее; только при значительном поперечном скате местности, ямы, лежащие *ниже полотна* выемки с подгорной стороны могут остаться незасыпанными. У насыпей засыпка производится обыкновенно с нагорной стороны, а с подгорной — только в пределах бермы.

Засыпка производится в уровень с окружающей местностью и даже несколько выше ее, на случай осадки. Если на дне засыпаемого пространства имеются ключи или видно близкое присутствие грунтовых вод по уже указанным признакам, то необходимо вывести оттуда эти воды; проще всего, конечно, сделать выпуск помощью открытой канавы, при которой и самая засыпка становится излишней. Но если с устройством канавы связаны значительные земляные работы, то приходится прибегнуть к прокладке дренажа в виде деревянной, чугунной, бетонной или железобетонной трубы отверстием 4-10 дм.; разумеется, в такой дренаж впускать верховую воду нельзя и в данном случае засыпка обязательна.

Иную цель преследует засыпка старых русел, а именно — недопущение высоких вод по нежелательному пути. Подобная засыпка имеет место чаще всего там, где старое русло реки заменено новым, искусственным. Здесь мы имеем два основных случая: когда высокая вода выходит из берегов русла и когда не выходит. Если окружающая местность затопляема, то лучше всего старое русло с *верховой стороны насыпи* засыпать по всей длине в уровень с берегами; однако, в случае очень больших работ по засыпке, возможно ограничиться лишь преграждением воде входа в старое русло и отсыпкой бермы; этот способ совершенно сходен с применяемым при засыпке староречий и описанным ниже. Засыпка старого русла с низовой стороны делается только в пределах бермы; лишь в том случае, если извилистость низового русла заставляет опасаться удара струи, протекающей по нему, в насыпь, оно на данном участке подлежит засыпке и вне пределов бермы. Засыпка может делаться из любого материала, но у входа в старое она обязательно делается из глины, а утрамбованный откос ее надежно укрепляется, лучше всего — фашинами*); очень желательно за-

*) Некоторые авторитеты (напр., Николай в «Курсе мостов») требуют обязательной забивки шпунта поперек старого русла; но эта мера может быть рекомендована лишь в виде *дополнения* к глиняной засыпке входа, причем шпунт забивается обязательно в середине засыпки или с края ее, отдаленного от реки. Сам по себе шпунт слишком легко вызывает подмыв берега, чтобы им ограждать старое русло со стороны реки, а быстрая загниваемость шпунта не позволяет особенно рассчитывать на него.

щищать и верх засыпки, что достигается простой дерновкой. Если берега русла настолько высоки, что высокая вода не выходит из них, то, по существу, засыпку достаточно сделать лишь до отметки, несколько превышающей горизонт воды и, притом, только у входа в старое русло. Но ограничиться этим возможно лишь в том случае, если из незасыпанной части русла имеется отвод воды помощью глубокой канавы вдоль полотна; если этого отвода нет, то мы имеем дело с обыкновенной бермой уширенного типа и старое русло засыпается полностью. Если отвод существует, но глубина его недостаточна, то засыпка русла производится по второму типу засыпки оврага. Во всяком случае, в пределах бермы русло засыпается, равно как и с низовой стороны, до уровня берегов (точнее, до уровня соседних берм).

Несравненно реже встречается засыпка староречий и проранов, чтобы направить воду в главное естественное русло. Полная засыпка производится лишь тогда, когда старые протоки очень коротки, так как в противном случае она потребовала бы громадных расходов. Частичная засыпка около полотна обязательна, но, так как она составляет одно целое с защитными бермами, также обязательно устраиваемыми, то мы опишем ее вместе с последними; помимо того, очень полезно, а иногда и необходимо, устраивать частичную засыпку у входа в староречья и прораны, где она делается в виде плотины, достаточно толстой и хорошо укрепленной не только со стороны входа, но и с низовой, так как высокая вода, переливаясь через плотину, может размыть ее низовой откос, а особенно — естественное дно и его подошву; поэтому, защита дна около подобной засыпки фашинными тюфяками с обеих сторон обязательна; с низовой стороны ширина тюфяка должна быть не менее устроенной высоты откоса.

ГЛАВА XI.

Защитные сооружения

(защитные бермы, дамбы, траверсы).

1. Защитные бермы.

Цель защитных берм, как уже указано выше, заключается в предохранении насыпи от пропитывания ее водой, постоянно или временно затопляющей местность, и в придании большей устойчивости такой насыпи путем уширения ее основания. Соответственно с этим, защитные бермы устраиваются: а) на поймах рек и речек, где весенняя вода выливается из берегов; б) на болотах, где снеговая вода, благодаря малому уклону местности, заливает всю низину, медленно

сходя затем; в) при пересечении скоплений стоячей воды, которые не могут быть осушены, т.-е. озер и больших прудов. Помимо того, к защитным бермам относятся еще и бермы, защищающие от подмыва естественные берега.

А. *Бермы на поймах рек* устраиваются с обеих сторон насыпи, причем ширина с верховой стороны должна быть не менее сажени, а с низовой—не менее 0,50 саж. Высота верховой и низовой бермы различна, так как при определении первой должен учитываться подпор; особенно существенно эта разница отзывается при широких поймах, так как подпор идет постепенно повышаясь от моста, примерно, по расчету 0,10 саж. на версту; таким образом, отметка подпорного горизонта на пойме (H) выразится формулой:

$$H=A+0.10l, \dots\dots (18)$$

где A — отметка подпорного горизонта у моста, l — (ширина поймы с данной стороны моста в верстах. Верх бермы должен быть примерно на 0,25 саж. выше самого высокого горизонта: подпорного с верховой стороны, неснесенного — с низовой. Но и эта высота может оказаться недостаточной в том случае, если на разливе развивается сильное волнение, что может быть установлено наблюдениями при проходе весенних вод, и тогда берму приходится еще повысить со стороны господствующих весенних ветров, независимо от того, будет-ли она верховая или низовая*); размер повышения зависит от размеров волн, равняясь полувысоте их.

Из сказанного ясно, что существующие технические условия, определяющие отметку насыпи на пойме, как превышающую на 0,50 саж. отметку подпора у моста, могут дать в некоторых случаях недостаточную ее высоту, и для широких пойм необходимо брать высоту насыпи, учитывая распространение подпора и волнение, причем бровка насыпи должна быть на 0,25 сж. выше бермы.

Естественно, что защитная берма до самого верха должны укрепляться, причем тип укрепления выбирается в зависимости от массы и скорости протекающей воды. Особенно сильно укрепляются бермы, подверженные сильному волнению: для них лучше всего подходит двойная мостовая в клетку, причем верхний слой должен набираться из особо крупных камней, тщательно пригнанных друг к другу. Слабее всего могут, разумеется, укрепляться, бермы, расположенные по поймам небольших речек, заливающих местность слоем воды 0,30—0,50 саж. толщиной; здесь достаточна дерновка, а при хорошем грунте бермы (крупнопесчаном, плотно-глинистом) можно обойтись и без нея.

*) Особенно важно защитить низовую сторону, если линия пересекает реку близ впадения ее в другую; в этом случае волны последней могут оказаться чрезвычайно опасными, раз ветер гонит их навстречу впадающей реке.

Если линия на пойме пересекает староречье, проран и т. д., то в этом месте устраивается *ступенчатая берма* (черт. 127), т. е. в уровне берегов староречья отсыпается нижняя ступень, а в уровне, соответствующем горизонту высоких вод—верхняя. Отметка и ширина последней определяются по только-что изложенным правилам, а ширина нижней берется равной, по меньшей мере, полувысоте ее с низовой стороны (считая от *твердого* дна староречья, часто покрытого илом и полной высоте — с верховой. Подошвы и откосы нижней ступени верховой бермы укрепляются *фашинными* тюфяками, а откосы нижних ступеней следует делать двойными. Совершенно необходимо в этом случае выдавить из под насыпи и бермы илистый грунт, почти всегда скопляющийся на дне староречий, для чего отсыпка производится из середины; удаление ила землечерпанием, хотя весьма желательно, но слишком дорого и, потому, рекомендовано быть не может, как общая мера.

Б. Бермы на болотах отсыпаются с обеих сторон насыпи, шириною не менее 1 сажени; высота с верховой стороны берется на 0,10 саж. выше подпорного горизонта и, во всяком случае, не менее, чем на 0,30 саж. выше поверхности болота; с низовой—на 0,20 саж. выше последней. Укреплению эти бермы не подлежат и материал для них может браться какой-угодно (чаще всего торф из канав), в отличие от прочих защитных берм, для которых берется таковой же материал, как и для насыпи.

В. Бермы при пересечении озер и прудов устраиваются или с обеих сторон, если вода омывает оба откоса насыпи, или только с одной, если один из откосов насыпи находится на берегу. При сколько-нибудь значительном поперечном скате, низовая берма играет роль контр-банкета и устраивается по правилам, изложенным в „Деформациях земляного полотна“ (стр. 24—25). В остальных-же случаях ширина бермы берется не менее 1 сажени, а высота—на 0,20 саж. выше горизонта воды; если на озере развивается сильное волнение, то верх бермы приходится поднимать и укреплять ее, тогда как при отсутствии волнения укрепление излишне.

Г. Бермы для защиты естественных берегов устраиваются там, где линия проходит вблизи последних и есть основание опасаться подмыва. У речных берегов бермы устраиваются очень редко, во избежание стеснения живого сечения, и необходимое укрепление производится на самом берегу, с некоторой лишь планировкой его, а если стеснения бояться нечего, то применяется система регулирования реки, как дающая несравненно более действительные результаты, чем подсыпка бермы (см. „Деформации земляного полотна“, стр. 71—72). В озерах устройство бермы вполне целесообразно, причем ширина ее берется не менее 1 сажени, а высота—на 0,20 саж. выше гребня волн, которые только

и могут вызывать подмывы озерных берегов. Укрепление бермы совершенно необходимо, причем тип его, как и в пункте В, выбирается в зависимости от силы волн.

2. Струенаправляющие дамбы.

Цель струенаправляющих дамб у искусственных сооружений видна из их названия. Этой целью обуславливается и расположение дамб, которые должны примыкать непосредственно к мосту, образуя около него искусственные берега, имеющие наивыгоднейшие в гидравлическом смысле очертание. Благодаря сказанной необходимости примыкание дамб непосредственно к мосту, они у последнего сливаются с его конусами; таким образом: *откос дамб, в части обращенной к реке и идущей параллельно передней грани устоев моста, должен иметь такую-же крутизну, как и откос конуса, прилегающей к мосту, т.е. быть одиночным или близким к нему.* Эта сравнительная крутизна части обращенного к реке откоса является характерной особенностью струенаправляющих дамб, несомненно—для них неблагоприятной, так как более крутой откос влечет за собой не только меньшую устойчивость дамбы, но и большую скорость воды около нее.

А. Дамбы у малых искусственных сооружений.

Струенаправляющие дамбы у искусственных сооружений малого отверстия сравнительно редко устраиваются самостоятельно, а большею частью представляют собой лишь головную часть защитных берм. Из этого определения становится ясной и отметка верха дамб: что-же касается до очертания их в плане, то оно различно, как в зависимости от массы протекающей воды, так и от того, находится-ли дамба с верховой или низовой стороны.

На поймах мелких речек и на болотах, контур верховым дамбам придается почти concentричный с очертанием впадающих в русло каналов (черт. 128). С низовой стороны ограничиваются просто закруглением прямого угла, образуемого бровкой защитной бермы и берегов русла у моста. Укрепление дамбы делается такое-же, как конусов, т.е., обычно, одиночной мостовой.

Б. Типы верховых дамб у больших мостов.

Струенаправляющие дамбы на больших реках имеют огромное значение, тем большее, чем больше масса протекающей воды и чем сильнее стеснено живое сечение реки

мостом. От правильности расположения дамб зависят условия подхода высоких вод к мосту и если оно ошибочно, то в результате может получиться подмыв опор моста или размыв самой дамбы, а вместе с ней — и подходящей к мосту насыпи. Это значение струенаправляющих дамб не всегда достаточно оценивается и, потому, наиболее часто повреждения у больших мостов встречаются именно в районе сопряжения их с берегом, и объясняются или неправильным расположением дамб в плане, или их недостаточными размерами, или, наконец, недостаточным укреплением.

Главнейшую роль в жизни моста играют, разумеется, верховые дамбы, на которых мы и остановимся преимущественно; задача верховой дамбы двоякая — с одной стороны, не допустить сильного удара высокой воды о насыпь подхода к мосту, а с другой — придать правильное направление струям, идущим под мост. Первая задача не может быть выполнена без удачного разрешения второй, которая и является основной задачей составителя проекта.

Типы верховых дамб могут быть сведены в четыре группы: *грушевидные* (к которым относятся и *круговые*), *удлиненные*, *укороченные* и *шпоровидные*, которые мы в отдельности и рассмотрим.

а) *Грушевидные дамбы*, в простейшем их виде, представляют собой некоторое развитие типа дамб у малых сооружений, образуя сплошную насыпь, очерченную в плане по двум обратным плавным кривым (черт. 129). Этот тип удобен тем, что создает массивное сооружение, одинаково прочное у головы и у корня, и позволяют струям, текущим вдоль насыпи, плавно перейти в главное русло. Однако, для постепенного сжатия струи, т. е. для той цели, которую дамбы преследуют, необходимо, чтобы ширина дамбы в направлении, перпендикулярном к оси моста, была не меньше его отверстия, хотя практика допускает ширину, равную половине пролета. Поэтому, при очень большом пролете размеры дамбы будут слишком велики и расходы на нее — чрезмерны. Это соображение вызвало к жизни грушевидные дамбы с незаполненной внутренностью, отличающиеся от сплошных тем, что земляная отсыпка производится лишь по периметру криволинейного очертания; здесь мы имеем и дальнейшее подразделение — дамбы непрерывные (черт. 130) и дамбы прерывистые (черт. 131). Последние удобны тем, что протекание внутри дамбы не подвергается одностороннему напору, неизбежному при непрерывном очертании дамбы и особенно опасному, если дамба сделана из песка; однако, и при прерывистой дамбе может проявиться напор, но уже изнутри дамбы, в месте примыкания дамбы к конусу, вследствие уже указанного выше повышения подпорного горизонта на широких поймах. Поэтому, верху дамбы должна придаваться такая отметка, которая соответствует отметке высокого горизонта у перерыва в дамбе

(см. формула 18) и часть дамбы, идущая вдоль реки, должна получить большую толщину, чем вся остальная.

Если перерыва в дамбе не делается, то под ней должна быть уложена труба с затвором, через которую выпускается вода, скопившаяся в замкнутом пространстве внутри дамбы, после спада высоких вод.

Грушевидные дамбы могут применяться только на широких поймах, на которых дамба умещается полностью; при мостах отверстием 10—100 саж. этот тип дамб имеет широкое распространение, но при больших отверстиях к нему прибегают неохотно, ввиду большой площади, занимаемой дамбами. Действительно, если мы возьмем ширину дамбы (параллельно реке) равной только половине пролета, то площадь под одной дамбой будет равна, примерно, $0,6l^2$, где l —отверстие моста.

Наиболее рационально применение грушевидных дамб там, где река выше моста делает поворот; здесь в полной мере проявляется достоинство плавного очертания этого типа дамб.

Если грушевидная дамба упирается в возвышенный берег, то обратной кривой делать незачем и получается т.-наз. *круговая дамба* (черт. 132).

б) *Удлиненные дамбы* примыкают к насыпи нормально к ней и затем идут, постепенно отодвигаясь от реки, по плавной пологой кривой (черт. 133). Эта криволинейность и пологость очертания никогда не должны упускаться из виду, так как только при его наличии происходит столь необходимое постепенное сжатие струи.

Длина удлиненной дамбы, как уже указано выше, должна быть не менее отверстия моста и может уменьшаться только в том случае, если голова дамбы раньше упирается в незатопляемый берег; уменьшение длины, допустимое в грушевидных дамбах, здесь крайне нежелательно, ввиду того, что при короткой дамбе слишком большая масса воды не направляется под мост, если только не сделать кривую очертания дамбы очень крутой, что, опять таки, недопустимо.

В отличие от грушевидных дамб, представляющих собой по всему периметру линию почти равного сопротивления, удлиненные дамбы имеют два очень опасных места: голову и корень. Голова воспринимает весь удар воды, разделяющейся в том месте на две основных части: идущую прямо под мост и обтекающую дамбу с внутренней стороны; поэтому, голова дамбы должна быть ушпирена, особенно хорошо укреплена и иметь более пологие откосы, чем остальная дамба (черт. 133). У корня вода, протекающая с внутренней стороны дамбы, попадает в замкнутое пространство, устремляясь туда по двум направлениям: параллельному дамбе и параллельному насыпи; в результате у корня неизбежен водоворот, могущий повредить дамбу и насыпь. Поэтому, сопряжение дамбы с насыпью должно делаться по

дуге круга не слишком малого радиуса (примерно, 10—25 саж.), благодаря чему корень значительно утолстится, равно как и берма вдоль насыпи, а струям обоих течений будет предоставлено более плавное направление.

Удлиненные дамбы могут применяться при всяких условиях подхода к мосту, за исключением случая, если река делает крутой изгиб выше моста; тогда в излучине следует делать грушевидную дамбу или систему шпоровидных, но не удлиненную, так как последняя может преградить течение, если оно прижимается к насыпи и вызвать размыв и дамбы, и насыпи.

в) *Укороченные дамбы* применяются только там, где река не образует широкой поймы, и по типу примыкают или к грушевидным, или к удлиненным; первый случай имеет место, когда с верховой стороны линии между ею и незатопляемым берегом имеется небольшой участок поймы, имеющий в плане треугольную или иную форму (черт. 134). Если это пространство очень невелико, то дамба заполняет его всё; при более значительной площади указанного пространства, внутренняя часть его не всегда заполняется дамбой; в этом случае получается слияние с грушевидной дамбой, при тех же недостатках, от которых здесь уже нельзя избавиться устройством сквозного отверстия в дамбе; выпуск воды из внутренности дамбы делается помощью трубы с затвором, уложенной или под дамбой, или под насыпью. Но лучше, несмотря на увеличение количества работ, делать сплошную засыпку.

Если незатопляемый берег идет почти нормально к пути, не образуя выпядин около последнего, то укороченную дамбу устраивают сходно с удлиненной; разница заключается: во первых, в гораздо большей пологости кривой очертания в плане, а во вторых—в отсутствии внутреннего откоса, так как дамба присыпается вплотную к незатопляемому берегу, образуя как-бы берму вдоль него (черт. 135).

г) *Шпоровидные дамбы* представляют собой короткие насыпи, направленные под различным углом к насыпи и к течению реки; они никогда не делаются отдельно, а всегда или целыми группами, или в соединении с дамбами какого-либо из предыдущих типов.

Группа шпоровидных дамб показана на черт. 136, где наиболее длинные из них относятся к типу удлиненных дамб, а остальные, называемые иногда *трансверсами*, в целом образуют фигуру, несколько сходную с грушевидной дамбой; иногда шпоры имеют в плане Т-образную форму (черт. 137); расстояние между отдельными дамбами берут в 25—50 саж., в зависимости от количества протекающей воды и быстроты течения. Особых преимуществ перед грушевидным типом система шпоровидных дамб не представляет, но по сравнению с удлиненными дамбами—несомненное преимущество, так

как защищает внутреннюю сторону самой длинной дамбы и откос насыпи. Особенно это важно на больших поймах, где развивается сильное волнение; там главной опасности подвергается откос насыпи, а потому шпоры (траверсы) могут быть сделаны гораздо более короткими и, притом, даже не по всей длине поймы, а только на том участке, где развивается сильное волнение; учесть заранее такое место возможно только тогда, когда заранее известно направление ветров, господствующих во время разлива; если оно неизвестно, то первые же годы после возведения насыпи укажут на него. Схема расположения коротких шпор для защиты насыпи от волнения показана на черт. 138. При больших поймах и сильных ветрах или при сильном течении вдоль линии может потребоваться устройство шпор и для защиты грушевидных дамб, вполне ясное из черт. 139.

В. Низовые дамбы.

Низовые дамбы устраиваются по типу удлинненных, а в случае очень узкой поймы — по типу укороченных; длина их во втором случае почти одинакова с верховыми, а в первом — значительно короче, обыкновенно раза в 2—3, причем в плане низовые дамбы устраиваются почти по прямой и против этого особенных возражений встречаться не может; голова их также не нуждается в столь прочном укреплении, как верховых дамб.

Однако, в некоторых случаях длина низовых дамб делается гораздо большей, чем сказано выше, а голова укрепляется столь же сильно, как у верховых; это бывает тогда, когда течение высоких вод направлено в сторону низовой дамбы, что чаще всего имеет место на внезапно расширяющейся пойме, а особенно при наличии староречья, отходящего от реки ниже моста. Здесь роль низовой дамбы огромна, так как она защищает от водоворота и насыпь, и ближайшие к ней пролеты моста, отклоняя струи в направлении, нормальном к оси линии. Этот случай подробнее рассмотрен ниже, равно как и случай резкого поворота ниже моста, когда одну из низовых дамб вполне целесообразно дополнять системой шпоровидных.

Г. Затопляемые дамбы.

Все перечисленные выше дамбы устраиваются настолько высокими, что верх их не затопляется самыми высокими водами в реке; но в помощь им иногда устраивается система дамб, затопляемых высокими водами, а иногда — и меженными. Подобные затопляемые дамбы лучше всего делать из фашинной кладки или фашинных тюфяков, хотя иногда

для них применяется и каменная отсыпка. Цель затопляемых дамб — отклонить течение от берега и основанной на нем незатопляемой дамбы, чтобы предупредить подмыв. Наиболее часто встречаемый случай применения затопляемых дамб имеет место тогда, когда течение реки выше моста направлено на дамбу или идет под самым берегом; тогда у последнего устраивается система из нескольких поперечных полузапруд и одной продольной (черт. 140); иногда достаточно одной последней, особенно, если берег образует губу или залив. Таким образом, здесь мы имеем систему регулирующих сооружений, совершенно соответствующую одной из тех, которые описаны в „Деформациях земляного полотна“ (стр. 71—80), куда мы и отсылаем читателя.

Течение вдоль самого берега и подмыв его могут иметь место и в колене реки выше моста, где насыпь защищается грушевидной дамбой; в этом случае применяются: для защиты высоких берегов — обыкновенные полузапруды постепенно-возрастающей длины, направленные почти нормально к берегу, но несколько против течения (черт. 141), а для защиты вогнутого берега — полузапруды-шпоры, направленные по течению под углом около 30° (черт. 142).

Особый вид затопляемых дамб применяется иногда при системе шпоровидных дамб, ближайшая к насыпи часть которых делается незатопляемой, а отдаленная — затопляемой; очертание в плане полузатопляемых дамб может быть или сходным с показанным на черт. 136, или ломаным (черт. 143). Цель подобных дамб заключается в том, чтобы ослабить течение у голов их.

Д. Различные условия пересечения реки мостом.

а) *Широкая ровная пойма.* Если река вблизи моста имеет прямое направление, то обе верховые дамбы могут устраиваться удлиненного типа, длиной в 0,5—1,5 пролета, в зависимости от ширины поймы и быстроты течения; грушевидные дамбы делаются лишь при малом отверстии моста. Длина низовых дамб берется раза в 2—3 меньше.

Если река образует колено выше реки или течение определенно прижимается к одному берегу, то длина верховой дамбы против колена или на подмываемом берегу должна быть такой, чтобы вода не могла обойти ее; на том же берегу, который омывается коленом, следует делать грушевидную дамбу (черт. 141) или систему шпоровидных. Низовая дамба на угрожаемом берегу делается длиннее другой и длина ее должна быть не меньше полудлины верховой.

При наличии колена ниже моста, если оно не особенно близко к последнему, удлиненные дамбы вполне целесообразны; если же колено очень близко к мосту, то необходимо дополнять удлиненную дамбу системой шпоровидных,

чтобы вода, обогнув первую, не ударяла в насыпь (черт. 144). (черт. 144).

б) *Широкая неровная пойма*. Очень часто на поймах встречаются отдельные возвышенности, незатопляемые или почти незатопляемые высокой водой; если эти возвышенности находятся неподалеку от моста, то дамба, верховая или низовая, должна быть обязательно доводима до них, хотя бы это было связано с некоторым удлинением ее. Таким порядком, голова дамбы будет наилучшим образом обеспечена; для выпуска воды из пространства, ограниченного насыпью, возвышенностью и дамбой, воду следует выпустить помощью труб с затвором, устраиваемой или под насыпью, или под дамбой. Может встретиться и такой случай, что возвышенность идет почти нормально к насыпи, разделяя пойму на две части (черт. 145); здесь представляется серьезная опасность для насыпи, так как в низину между возвышенностью и незатопляемым берегом может устремиться масса воды, которую не успеет пропустить водоотвод вдоль насыпи, так что последует перелив воды через насыпь или такой напор на последнюю, которому она сопротивляться не в состоянии. В этом случае весьма желательно совершенно перегородить вход в упомянутую низину отдельной дамбой, показанной на черт. 145 буквами АБ. Что же касается до верховой дамбы у моста, то, для доведения ее до возвышенности, необходимо придать ей сильно закругленную форму, так что получается большое сходство с ближайшей к мосту частью грушевидной дамбы; однако, это следует делать лишь тогда, когда возвышенность достаточно близка к мосту, а в противном случае — сохранить удлиненный тип.

в) *Пойма со староречьями*. Староречья на поймах могут послужить источником крупных неприятностей для насыпи у моста, так как количество воды в них является величиной весьма переменной, а дно и берега не гарантированы от размыва. Поэтому, защита староречий совершенно необходима и достигается, прежде всего, пересечением их верховой или низовой дамбами (черт. 146); но это не всегда достижимо по разным причинам; староречье может начинаться очень далеко от моста и идти почти параллельно дамбе; также далеко оно может и кончаться; некоторые староречья, наконец, используются для целей судоходства, как затоны, а потому не только не могут быть запираемы, но и требуют иногда углубления. В первых двух случаях, староречье пересекается одной или несколькими поперечными дамбами (траверсами), примыкающими к одной из главных дамб, если оно проходит неподалеку от последних и угрожает, следовательно, целости их; помимо того, между дамбами следует засыпать и староречье до уровня поймы. Отдаленные же староречья засыпаются или целиком, или отдельными затопляемыми запрудами, как указано выше, в отд. 4, гл. X.

Судоходные староречья имеют для дамб то значение, что ограничивают длину последних; наличие судоходного староречья у верхней дамбы особенно опасно для ее головы, почему таковую следует сделать в этом случае особенно солидной и надежно защищенной, обратив самое серьезное внимание на возможность подмыва подошвы, против чего наилучшее средство защиты — фашинные тюфяки, так как фашинная кладка сильно стесняет староречье. С низовой стороны соседство староречья менее опасно для головы дамбы.

Особенно опасны староречья, находящиеся у подошвы косогора, по которому линия подходит к мосту, так как они легко могут вызвать подмыв подошвы косогора.

г) *Узкие поймы или полное отсутствие их.* На узких поймах или при отсутствии их мост сравнительно мало стесняет живое сечение реки, а потому в постепенном сужении струй меньше нужды; к тому же, узость реки указывает, в большинстве случаев, на хороший грунт дна и берегов. Оба эти обстоятельства позволяют считать переход в узком месте идеальным во всех отношениях, между прочим — и в отношении устройства струенаправляющих дамб. Последние применяются почти исключительно укороченного типа, причем длина их берется не свыше половины пролета, а иногда может быть гораздо меньше, причем в последнем случае задача дамб сводится только к защите конусов от подмыва (черт. 134, 135). При скалистом берегу, когда конуса отсыпаются из камня, а иногда не доходят своей подошвой до горизонта высоких вод, возможно обойтись без всякой дамбы. С низовой стороны отсутствие дамб может встретиться гораздо чаще; вообще, можно сказать, что в данном случае низовая дамба только заполняет пространство между конусом и берегом, да и без этого можно обойтись, если условия грунта благоприятны.

Наличие колеи выше и ниже моста не влияет на устройство дамб: только в том случае, если замечается подмыв берега, следует защитить ее затопляемыми регулирующими сооружениями, по правилам, указанным на стр. 71—80 „Деформаций“.

д) *Расширяющаяся пойма.* Если для подхода к мосту нельзя воспользоваться косогором долины одного из притоков реки или если боковая долина не дает возможности достаточно развить спуск, то линия железной дороги трассируется по косогору самой реки, пересекаемой мостом; подошва этого косогора иногда омывается излучиной реки, не образующей поймы, а иногда, и, пожалуй, чаще всего, у подошвы косогора располагается обширная пойма. Так как лишь в исключительно-редких случаях (каменистые грунты) косогор вдоль поймы сопрягается под ясно-очерченным углом с незатопляемым берегом, нормальным к линии в том месте, где располагается мост, то в непосредственной близости к последнему железная дорога засекает начало

поймы, отрезая от нее площадь, имеющую, б. ч., треугольное очертание (черт. 147). Условия работы моста в данном случае весьма неблагоприятны, так как, при высоком горизонте, вода, вытекая из пространства, сжатого, хотя-бы с одной стороны, возвышенным берегом, разливается по пойме, образуя водовороты и направляя под косым углом к мосту струи, ближайšie к берегу. Задача дамб заключается здесь в том, чтобы эти водовороты и отклонение струй в сторону были отнесены ниже моста, не подмывая опор и насыпи. Как ни ясна эта задача, как ни часто встречается описываемый случай, но при составлении проекта дамб сплошь и рядом упускаются из виду самые элементарные требования гидротехники, в результате чего получаются многие нежелательные явления: подмыв опор, подмыв самих дамб, подмыв подходной насыпи и направление течения в смежные с берегами пролеты, мешающее судоходству и вызывающее удары судов о быки. Обычно, ошибка при составлении проекта дамб заключается в неправильном направлении верховой дамбы и недостаточной длине низовой.

Направление верховой дамбы должно быть таким, чтобы, с одной стороны, происходило постепенное сжатие струй, а с другой—чтобы они направлялись под мост нормально к нему. Для достижения этого, верховая дамба должна быть доведена до выступа в берегу, образующего одну из вершин треугольного участка поймы, расположенной выше моста (черт 147) и подходить оттуда к мосту по плавной и чрезвычайно пологой кривой, переходящей у самого моста в прямую, перпендикулярную к его оси. При малых размерах вышеупомянутого треугольника, указанная задача легко решается устройством укороченной дамбы, заполняющей треугольник целиком и очерченной по надлежащей кривой. Но если размеры треугольника велики, то, ради сбережения расходов, обычно применяется удлинненная дамба; из ложно-понимаемой экономии ее часто не доводят до возвышенного берега, а очертание в плане придают такое-же, как при одинаковой ширине поймы (черт. 133); последнее почти всегда имеет место и в том случае, если дамба доведена до возвышенного берега. Таким образом, участок у входа на пойму остается в том-же положении, что и до постройки моста, и струи будут отклоняться в сторону поймы; но по дороге они встретят дамбу и примут направление отнюдь не нормальное к оси моста (черт. 148), ввиду чего под первым пролетом моста и у дамбы образуются неизбежные водовороты, со всеми их последствиями; если дамба, вдобавок, не доведена до возвышенного берега, то у головы ее образуется особо-сильный водоворот, а насыпь подхода оказывается подверженной удару тех струй, которые пройдут между берегом и головой дамбы, причем сила этого удара может быть весьма значительной. На основании сказанного, проектирование верховой дамбы на расширяющейся пойме должно быть выпол-

нено при полном соблюдении условия постепенного сжатия струи и правильного направления ее, т.-е. по черт. 147; даже и в этом случае течение около берега бывает столь значительно, что дамбу полезно дополнять системой затопляемых дамб, плавно отдаляющей течение от берега; разумеется, число и длина затопляемых дамб зависят от подводного счертания берега. Дамбы, построенные не согласно с указанным принципом, а по типу дамб на широкой пойме, могут быть допущены только в случае неразмываемости дна и берегов, да и то—если первый пролет моста не судоходен.

Так как при устройстве удлиненной дамбы, упирающейся в возвышенный берег, между ним и насыпью образуется замкнутое пространство, подверженное очень значительному напору воды, не только статическому, но и динамическому, то следует принять меры к обеспечению прочности дамбы, в виде треугольной засыпки у головы дамбы (черт. 147) и устройства 1—3 траверсов (поперечных дамб), как показано на том-же чертеже. Устройство для выпуска воды из замкнутого пространства подразумевается само собой, как в аналогичных предыдущих случаях. Но несравненно лучше, даже и при большой площади между дамбой и незатопляемым берегом засыпать ее всю, так как в этом случае получается полная гарантия целости дамбы.

Пойма, на которую до постройки моста направляется значительная масса воды, почти всегда прорезана староречьями, параллельными возвышенному берегу, а иногда и вновь прорытыми низинами (проравами); поэтому, вода, выходя из под моста, стремится заполнить эти пониженные места и получает тогда обратное течение, а вместе с ним и водовороты, опасные не только для насыпи, но и для всего возвышенного берега поймы, по которому проходит линия дороги. Поэтому, низовая дамба должна быть сделана возможно длинной, не короче верховой, а в нее, ближе к корню, упираться один—два траверса *), пересекающие староречье или проран, и доводимые до возвышенного берега (черт 147). Таким путем, водовороты, вызываемые обратным течением, относятся возможно далеко, а в наиболее опасном месте сосредоточиваются у траверса, подошва которого, конечно, должна быть соответственно укреплена. Помимо того, в староречьях и проравах ниже траверса полезно поставить несколько илоудержателей того или иного типа, а выше—засыпать часть замкнутого пространство между дамбой, траверсом и линией; последнее и здесь должно получить выход для воды, в виде трубы с затвором, лучше всего укладываемой под траверсом.

*) Существенную роль играет траверс, расположенный ниже по течению, а верховой служит лишь контрфорсом для дамбы, поддерживающей большой напор воды на участке между мостом и низовым траверсом; поэтому, устройство второго траверса нужно лишь в том случае, если угрожаемый участок дамбы очень длинен.

До сего времени мы рассматривали случай такого подхода линии, при котором пойма находится с низовой стороны ее, как наиболее характерный. При пойме, находящейся с верховой стороны, устройство верховой дамбы, разумеется, уже иное; здесь наиболее опасное течение направлено вдоль линии, а потому единственный подходящий тип — грушевидная дамба или ее видоизменение — круговая. Размеры и очертание должны быть таковы, чтобы получалось плавное соединение возвышенного берега с дамбой, почему от типичного очертания грушевидной дамбы часто приходится отказываться и заменять ее круговой, полого соединяющейся с берегом (черт. 149). При большой пойме и значительной скорости воды весьма полезно, а иногда и необходимо, дополнить круговую или грушевидную дамбу несколькими шпоровидными (черт. 139), которые в отдельных случаях устраиваются и у подошвы косогора, особенно, если там существует староречье или наблюдаются следы подмыва.

Низовая дамба устраивается или укороченной, если треугольник поймы ниже линии невелик, или удлиненной, если он значителен, причем к очертанию дамбы здесь полностью относится сказанное о верховых дамбах для уширяющихся пойм, расположенных с низовой стороны моста: *доведение дамбы до возвышенного берега не только не требуется, но и нежелательно*, так как, с одной стороны, промежуток между головой дамбы и возвышенным берегом служит для выпуска высоких вод, а с другой — напор на дамбу будет гораздо меньше, если за ее голову эти воды будут заходить; из черт. 149 видно, что при правильном направлении дамбы обход ее головы высокой водой нисколько не вреден ни для дамбы, ни для правильного течения в реке.

Е. Поперечный разрез дамб; укрепления.

Поперечное сечение дамб, т.-е. ширина по верху и пологость откосов, зависит от количества протекающей около них воды и скорости течения; низовые дамбы, кроме отдельных случаев, могут иметь несколько меньшую ширину по верху, чем верховые. Ширина по верху последним придается в 2—3 сажени, низовым в 1,5—3; шпоровидные дамбы могут иметь несколько меньшую ширину, а именно — от 1,5 до 2,5 саж. Ширина в голове верховых дамб должна значительно увеличиваться, превышая ширину остальной части дамб в 2—4 раза, причем эта уширенная часть очерчивается плавною кривой и такою-же кривой сопрягается с остальной дамбой; на черт. 133 виден один из способов устройства головы, но возможно и несколько сокращать длину ее, приближая очертания к кругу, а не к эллипсу; у низовых дамб уширенной головы чаще не делают вовсе, но в тех случаях, когда течение ударяет на одну из низовых дамб (напр.,

случай уширяющейся поймы к низу от моста), голова ее должна быть уширена в 2—3 раза против ширины остальной дамбы. Разумеется, дамбы сплошные грушевидные (или круговые) и сплошные укороченные имеют весьма различную ширину по верху, в зависимости от местных условий.

Откос дамб, обращенный к реке, как уже указано выше, поневоле приходится делать одиночным в части, примыкающей к устоям моста и параллельной их передней грани; по отклонении от этого параллельного направления, откос постепенно уполоаживается, пока не получит двойного заложения, которое можно считать достаточным; противоположный откос может быть и полуторным. Но сопряжение обоих откосов в голове удлиненных и шпоровидных дамб делается значительно более пологим откосом, а именно — не круче тройного у верховых дамб и двойного — у низовых. На больших-же реках с мощным течением, головы дамб, особенно верховых, должны иметь еще более пологий уклон, а именно — от 1:4 до 1:10.

Отметка верха дамб берется по крайней мере на 0,50 саж. выше самого высшего горизонта воды, а если на реке развивается сильное волнение (широкие поймы со стороны господствующих при разливе ветров), то и на большую высоту (0,75—1,50 саж.). Дамбы грушевидные, как уже сказано, должны подниматься по мере отхода от моста, по формуле (18).

Что касается до затопляемых дамб, то их поперечное сечение может быть различно, но так как они, в данном случае, всегда устраиваются у берега с значительной силой течения, то ширину по верху следует делать не менее 2 саж., при двойных откосах. Взаимное расстояние между затопляемыми поперечными дамбами берется равным длине последних: расстилочные тюфяки под дамбами должны выступать на 5 саж. от края нижнего толстого тюфяка вниз по течению и на 2,5—3 саж. — вверх. Продольный уклон затопляемых дамб берется таким-же, как и всяких регулирующих сооружений, т.-е. для поперечных — постепенно переходящий от уклона $\frac{1}{8}$ или $\frac{1}{16}$ у берега к площадке в конце (обыкновенно, для этой цели между береговым уклоном и площадкой вставляется уклон в $\frac{1}{30}$, а иногда два уклона: $\frac{1}{20}$ и $\frac{1}{30}$); для продольных затопляемых дамб уклон различен, в зависимости от их длины, но, во всяком случае, гораздо положе, чем у поперечных (большой частью от $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{80}$).

Укрепление дамб делается в зависимости от скорости течения; вообще говоря, для внешнего откоса применяется двойная мостовая, а для внутреннего — одиночная; если грунт дамбы годится для прорастания ивняка, то лучше всего мостовую делать в клетку, так как она дает очень хорошую защиту при проросших плетнях. Но если грунт дамбы не подходящ для ивняка, особенно, если она долгое время после спада вод остается сухой и нагреваемой солнцем, то ожидать

прорастания мудрено и лучше применять более дорогую мостовую в прикол, из крупных камней. Какая-бы мостовая ни делалась, одиночная или двойная, в клетку или в прикол, под ней обязательно укладывается слой щебня, толщиной 0,06 — 0,12 саж., во избежание вымывания водой частиц грунта.

Разумеется, голова дамб должна быть укреплена двойной мостовой и с внутренней стороны; точно также, двойной мостовой защищаются и корни удлиненных дамб, если пойма широка, вода поднимается высоко и удлиненная верховая дамба не дополнена системой шпоровидных.

Верх дамб укрепляется одиночной мостовой на мху или навозе без клеток, чтобы обеспечить удобный проход при осмотре и ремонте; если река невелика и нет опасения, что волны могут захлестывать на верх дамбы, можно обойтись и вовсе без мощения верха.

Еще важнее, чем укрепление дамбы — *устройство надежного основания для него*; при дамбах, идущих на пойме, так что подошва их находится выше уровня межи, достаточную опору для мощения представляет двойная лента мостовой, врезанная заподлицо с землей. Но и это не исключает необходимости защищать у дамбы берег реки под водой, если ему угрожает подмыв; если же подошва дамбы омывается меженней водой, как это часто имеет место у самого моста, то *укрепление берега, служащее одновременно опорой для мостовой, обязательно*. Укрепление берега под водой делается тонкими фашинными тюфяками, фашинной кладкой или каменной наброской, вполне согласно с описанием таких укреплений, помещенным в книге „Деформаций земляного полотна“; в случае применения каменной наброски, необходимо делать ее из камней таких размеров, при котором не могло-бы иметь место передвигание их силой течения; поэтому, на больших реках фашинные тюфяки, вообще очень удобные, являются наиболее целесообразными, так как в них клетки мешают вынесению отдельных камней.

3. Траверсы.

Помимо траверсов, дополняющих собою систему струенаправляющих дамб, в строительном деле встречаются и траверсы самостоятельные, которые могут быть разделены на три категории: траверсы из естественного грунта, насыпные траверсы на поймах и водораздельные траверсы.

А. *Траверсы из естественного грунта* устраиваются только в резервах, расположенных на пойме и заливаемых высокой водой, с целью уменьшить скорость протекания воды и предохранить путевой откос резерва от подмыва. Траверсы располагаются в 25—35 саж. друг от друга (против телеграфных столбов, которые на них и устраиваются) и

представляют собой невыбранную полосу земли, шириной в 1—1,5 саж., недоходящую до полевого откоса настолько, чтобы оставить свободный проход для воды (1—2 саж., в зависимости от ширины резерва).

Б. *Насыпные траверсы на поймах* имеют целью отклонить течение высоких вод от насыпей, расположенных на поймах, если на пойме развивается сильное волнение. Так как подобные насыпи, вне непосредственного подхода к мосту, имеют обыкновенно возвышение на 0,50—0,75 саж. над горизонтом самых высоких вод, то и отметку верха траверсов приходится делать такой-же, т.-е. в уровне бровки полотна. Траверсы этого типа встречаются очень редко, но иногда они оказываются совершенно необходимыми, что чаще всего выясняется уже во время эксплуатации.

Длина насыпных траверсов берется не очень большой, около 20 саж., хотя в отдельных случаях могут потребоваться и более длинные траверсы, причем направление им придается или нормальное к линии, или под небольшим углом к ней. Лучше придавать траверсам Т-образную форму в плане, так как тогда защита насыпи будет более действительна, и траверсы могут располагаться реже; без поперечных присыпок, траверсы должны находиться во взаимном расстоянии, равном их длине, увеличенной в 1,25—1,5 раза, тогда как при Т-образных траверсах расстояние между концами ближайших присыпок берется равным длине траверса или несколько большей (до 1,25 раза). Ширина траверсов по верху принимается в 1,5—2 саж., откосы делаются полукруглыми и защищаются мостовой, о которой следует сказать то-же самое, что уже сказано о мостовой дамб; верх мостится обязательно, одиночной мостовой без клеток на мху или навозе.

В. *Водораздельные траверсы* относятся к крайне редким сооружениям и предназначены для того, чтобы вода из одного бассейна не могла переливаться в другой и этим нарушать весь расчет искусственного сооружения на последнем. Применение их может иметь место только в том случае, если линия спускается крутым уклоном от низины с очень пологими берегами, на которой имеется искусственное сооружение (черт. 150). Если за последним образуется значительный подпор, то вода может подняться выше дна канавы или кювета, имеющих спуск уже к другому сооружению, расположенному ниже, размывать его и в большой массе направиться в другой бассейн. Во избежание этого, и устраиваются водораздельные траверсы, представляющие собой невысокую насыпь, направленную нормально или под углом к линии, в зависимости от очертания местности и имеющую отметку верха, на 0,20 саж. превышающую наибольшую высоту подпора (учитывая его повышение в стороны по формуле (18)). Ширина траверса по верху достаточна в 0,50 саж. для жирной глины и 1 саж. для

неска; для прочих грунтов берутся промежуточные значения; откосы полуторные, причем откос, обращенный к выше-расположенному бассейну, должен одерновываться при песчаных, песчанистых и рыхлых грунтах. Длина траверса такова, чтобы его голова уперлась в точку местности с отметкой, равной отметке верха траверса.

ГЛАВА XII.

Расчет канав и русел. Укрепление их. Защита от засорения. Особые типы канав и русел.

1. Расчет канав и русел.

А. *Расчет канав* имеет целью придать канаве достаточные размеры поперечного сечения и достаточный уклон, а также—определить скорость протекания воды, для выбора типа укрепления. Еще совсем недавно на расчет канав не обращалось никакого внимания, тогда как теперь иногда впадают в противоположную крайность, рассчитывая даже такие канавы которые легко могли-бы обойтись без проверки. Хотя расчет канав, при надлежащем пользовании таблицами (о них см. ниже), весьма прост, но, всё-же, при постройке новых дорог канав строится такая масса, что труд, уделяемый на их расчет, является величиной весьма значительной и отнимающей время у более продуктивной и необходимой работы.

Следует помнить, что если канава имеет недостаточное сечение или уклон, либо, наоборот, имеет чрезмерно крутой уклон, то лишь в редких случаях она представляет собой непосредственную опасность для движения по дороге и случаи эти нетрудно перечислить; к ним относятся: полное несоответствие элементов продольного и поперечного профиля канавы с расходом воды в ней; чрезвычайная размываемость грунта; непосредственная близость канавы к полотну (напр., отводная канава, пропущенная по кювету). Поэтому, мы можем считать расчет обязательным или тогда, когда бассейн канавы очень велик, или когда уклон канавы превышает 0,004 при сильно размываемых грунтах, или когда она проводится по кювету выемки нераскрытой, либо раскрытой, но имеющей берму не шире 0,5 саж. Нужно также добавить случаи, когда в канаве (гл. обр., у выхода из нее) предложено сделать дорого-стоющее укрепление (перепады, мостовую на большой площади); здесь расчет необходим для того, чтобы укрепление не оказалось излишним или недостаточным; и то, и другое не особенно важно, когда

выбран дешевый тип укрепления, но при больших затратах на последнее не следует рисковать напрасной тратой денег.

В остальных случаях, если будут соблюдены все правила, указанные в гл. VIII, расчет канав не должен считаться обязательным и от строителя зависит выбирать, когда расчет нужен и когда им можно пренебречь.

Но, если можно в известных случаях допустить замену расчета глазомером, основанным на опыте и здравом суждении, то в дальнейшем всякие канавы, будут-ли они вырыты по расчету или без него, должны подвергаться тщательному наблюдению, и, если потребуется, улучшены и приведены к такому виду продольного и поперечного профиля, при котором условия протекания воды в ней были-бы нормальны. Здесь в каждом данном случае приходится решать—делать-ли указанные работы на основании расчета или на основании наблюдений за работой воды при ее протекании в канаве: пожалуй, правильнее всего—комбинация того и другого при значительных повреждениях канавы и, особенно, при значительном переполнении ее, так как последнее опаснее всего для полотна дороги.

Во всяком случае, будет-ли рассчитываться канава или нет, но при проектировании ее не следует увлекаться стремлением придать ширине и глубине минимальные возможные размеры. Если мы зададимся четырьмя ширинами канав по дну—0,30, 0,50, 0,75 и 1 сажень, то этого будет совершенно достаточно и никаких промежуточных значений вводить не зачем: ни в коем случае не следует принимать ширину менее 0,30 саж., за исключением только забанкетных и предбанкетных канав, с ничтожным расходом воды. Задавшие минимальной шириной в 0,30 саж., не так уже трудно сообразить, где следует прибавить ширину и довести ее до 0,50 и 0,75 саж.; ширина 1,00 встречается лишь у канав с очень большим расходом, элементы которых всегда должны проверяться расчетом.

Что касается до глубины, то с точки зрения правильного протекания воды следует определению идти на увеличение глубины, лучше всего предупреждающее выливание воды из канавы, но увлекаться чрезмерно большой глубиной не приходится, в силу соображений экономических: чем глубже канава, тем дороже стоит ее вырытие и укрепление, тем, труднее и дороже очистка ее от снега.

Наконец, увеличение уклона канав увеличивает их пропускную способность но может вызвать необходимость дорого-стоящего укрепления во избежании размыва; в последнем отношении уклон 0,004 может считаться совершенно безопасным и не требующим проверки расчетом, за исключением лишь очень легко размываемых грунтов, при очень больших массах протекающей воды.

В основу расчета канав кладутся те же формулы, что и для расчета отверстий мостов, т.-е.

$$Q = \omega V$$

$$V = c\sqrt{Ri};$$

причем величина c для земляного ложа равна

$$c = \frac{1}{\sqrt{0.0006 + \frac{0.00035}{R}}}$$

Так как сечение канавы задается определенной трапециевидной формы, почти всегда с полуторным откосом, при ширине по дну, выраженной какой-либо круглой цифрой (обычно—0,3, 0,5, 0,75 или 1,00), то расчет может быть существенно упрощен путем применения таблиц, которые не трудно составить самому проектировщику; очень подробные таблицы для уклонов не свыше 0,01, составлены инж. Ефремовым (Петербург, 1907 г.). Ввиду малой распространенности этих таблиц, в конце книги (прилож. № 8), помещены сокращенные таблицы для канав шириной 0,30, 0,50, 0,75 и 1,00 саж., для уклонов до 0,1, в свое время составленные под руководством автора для Московской Окружной дороги, но несколько переделанные для настоящего издания. В этих таблицах приведены расходы и скорости при различных уклонах для канав вышеуказанной ширины по дну, при наличии слоя протекающей воды в 0,10, 0,20, 0,30, 0,40 и 0,50 саж. Таблицы составлены для скоростей не свыше 3,2 саж. в сек., так как при большой скорости приходится делать укрепления в виде перепадов, условия протекания воды в которых совершенно иные; данные для расчета перепадов помещены в „Деформациях земляного полотна“

Порядок производства расчета различен для нагорных и отводных канав, почему ниже рассмотрены отдельно те и другие.

а) *Расчет нагорных канав.* Наиболее опасное место нагорной канавы—у выхода, где в нее попадает больше всего воды: точно также, и уклон чаще всего бывает самым крутым у выхода. Предположим, что концевой участок нагорной канавы запроектирован сперва с уклоном 0,004, а затем—с уклоном 0,012, причем глубина в точке пересечения равна 0,40. Определяем расход по тем или иным нормам, причем предполагаем, что он оказался равным 0,24 куб. саж. В таблице мы находим, что ближайшая подходящая ширина по дну для уклона 0,004 и глубины 0,40 равна 0,50 саж.; если мы пожелаем к верховью канавы уменьшить ее ширину, то или должны сделать аналогичную проверку где-либо в середине канавы, или, если уклон всюду одинаков и глубина канавы почти постоянна, определить сразу из таблицы расход, соответствующий данному уклону, ширине и глубине; например, в данном случае, ширина по дну 0,30

саж. при уклоне 0,004 и глубине 0,30—0,40 саж. может быть придана там, где расход равен 0,11.

На участке с уклоном 0,012, очевидно, сечение канавы вполне удовлетворяет условиям свободного пропуска воды, благодаря крутому уклону, но скорость может быть столь велика, что потребуются укрепления. Берем для уклона 0,012 (интерполируя между 0,01 и 0,015) и ширины по дну 0,50 расход 0,24; он соответствует толщине слоя воды 0,28 саж., при скорости около 0,9 саж., т.-е. требует укрепления сплошной дерновой, а лучше—одиночной мостовой.

Если бы в указанном примере оказалось, что ширина по дну требуется очень большая, то следует проверить, не выгоднее ли будет углубить канаву.

б) *Расчет отводных канав.* Самая опасная точка в отводных канавах,— это их исток, где глубина может оказаться недостаточной; здесь, чтобы не врезаться чрезмерно глубоко в землю, всегда отсыпается берма или банкет, которые служат искусственным берегом и от верхнего ребра которых, ближайшего к канаве, считается глубина последней. Предположим, что нам нужно отвести воду из низины, пересекаемой насыпью высотой 0,60 саж., при расходе воды 1,00 куб. саж. Верх бермы должен быть на 0,30 саж. ниже бровки насыпи, так что высота бермы, при ширине ее в 2 саж. и поперечном уклоне верха 0,02, будет всего 0,26 саж., откуда нужно еще вычесть около 0,06 саж. на поперечный уклон местности. Пусть глубина канавы у истока задается в 0,20 саж. при уклоне 0,002, так что полная глубина от верха бермы равна 0,40 саж.; из таблицы мы видим, что даже ширина 1,00 саж. не удовлетворяет условиям пропуска воды, а потому мы, прежде всего, углубляем канаву до 0,30 саж. + 0,20 саж. бермы и задаемся уклоном 0,007, так как только при этих условиях пропуск 1 куб. саж. воды в секунду будет возможен; скорость будет 1,13, т.-е. потребуются укрепления одиночной мостовой. Если бы оказалось, что земляные работы и стоимость укрепления при уклоне 0,007 окажутся чрезмерно дорогими, то приходится выбрать одно из следующих решений: или уширение и еще большее углубление канавы при сохранении уклона 0,002, или некоторое увеличение этого последнего уклона вместе с увеличением глубины и ширины, или, наконец, замена канавы искусственным сооружением.

Другая поверка отводной канавы делается у выхода ее, если уклон там значительно круче, чем в верховьи, а также—если длина канавы настолько велика, что расход в низовой части значительно больше, чем в верховой. Возьмем канаву с расходом в 0,60 куб. саж. в верховьи, при уклоне 0,004 и глубине (вместе с бермой или банкетом) в 0,45 саж.; для такой канавы достаточно ширина 0,75 саж., а укрепления не потребуются. Пусть у выхода, где имеется уклон 0,015, расход увеличивается до 0,85 куб. саж., а глубина будет

0,40. При ширине 0,75, и глубине 0,40, вода в канаву не влезет и нам предстоит альтернатива: или увеличить уклон до 0,02, или увеличить ширину до 1,00 саж.; в первом случае, скорость будет 1,75 саж., во втором—1,33 саж.; и эта, и другая скорость требуют укрепления либо двойной мостовой, либо одиночной с поперечными плетнями, почему выгоднее будет, увеличив уклон, оставить ширину 0,75 саж.

Если в канаву впадает несколько значительных боковых притоков, или если ширина ее у выхода оказывается больше, чем у истока, то следует сделать поперечный расчет у места впадения притоков или где-либо по середине, подобно тому, как это указывалось для нагорной канавы.

Наконец, следует добавить, что и в нагорных, и в отводных канавах могут встретиться случаи резкой перемены уклона где-либо по середине канавы и тогда проверка должна делаться еще и в районе меняющихся уклонов. Предположим, например, что канава идет уклоном 0,004 и затем проходит участок с уклоном 0,010, и переходит в уклон 0,002; пусть расход воды в первой точке перелома равен 0,25 саж., а во второй—0,3, причем глубина одинакова и равна 0,40 саж. *). Для участка с уклоном 0,004 необходима ширина по дну 0,50 саж., причем укрепления не требуется; на уклоне 0,01 скорость будет 0,9 саж., т.е. потребует сплошной одерновки или мощения одиночной мостовой, а на уклоне 0,002 ширину канавы придется придать в 0,75 саж. без укрепления.

Б. *Расчет русел* обыкновенно не производится, так как ширина и род укрепления автоматически получаются при расчете отверстия искусственного сооружения, а глубина имеет мало значения, ввиду того, что выливание воды из русел большей частью вполне допустимо; правда, условия протекания воды во входном русле иные, чем в выходном, и в обоих—иные, чем в пределах самого искусственного сооружения, но этой разницей при коротких руслах обычно пренебрегают и укрепляют их соответственным типом укрепления до соединения с естественным тальвегом. Что касается до длинных русел, то там подобный способ обошелся бы слишком дорого, а потому в них приходится иногда прибегать к расчету. Последний не нужен в том случае, если русло вырыто в торфянистом грунте, который при практически-возможных скоростях размыву не подвергается и укрепления не требует; тем более сказанное относится к скалистому грунту. На широких низинах, где русло представляет собой простую канаву, из которой вода свободно разливается по низине, расчет был-бы слишком сложен, а потому там скорости вне пределов конусов можно принимать равным полусумме скоростей в естественном тальвеге и под

*) Здесь, как и во всех остальных случаях, берутся минимальные глубины на участке с данным уклоном.

мостом, задавая соответственное укрепление или вовсе обходясь без него. Лишь в том случае, если естественное русло настолько глубоко, что вода из него не выливается, следует определить скорость в нем, в одном или нескольких местах (в зависимости от переломов уклонов и разности ширины), после чего уже задаться соответственным укреплением; необходимые элементы для определения скорости могут быть взяты из расчета отверстия.

Другой случай, когда приходится прибегать к расчету русла, имеет место там, где в пределах русла устраиваются перепады или вообще, встречаются участки с очень крутым уклоном, подлежащие дорого-стоющему укреплению; здесь расчет преследует ту-же цель, что аналогичный расчет в канавах.

Кстати сказать, всякого рода ошибки или неточности, допустимые при выборе типа укрепления русел, имеют столь-же малое влияние, как и в канавах, так как только в исключительном случае можно ждать непосредственной опасности для искусственного сооружения, если произойдет размыв русла; важно только чтобы он не имел места около самого сооружения, а потому всякого рода крутые уклоны и ослабления укрепления не должны допускаться слишком близко к сооружению, если только они не проверены расчетом.

2. Укрепление канав и русел.

Вопрос о типах укрепления канав и русел достаточно подробно разобран в гл. V, В „Деформаций земляного полотна“, а потому здесь мы остановимся только на протяжении укрепления.

Благодаря неустановившемуся движению воды при переходе с одного уклона на другой, изменения в скорости начинаются несколько выше перехода от более пологого уклона к более крутому и кончаются несколько ниже перехода от более крутого к более пологому; поэтому, если участок с более крутым уклоном укрепляется сильнее смежных участков, то усиленное укрепление должно начинаться на длину l_1 перед верхним переломом и продолжаться на длину l_2 за нижним переломом. Определение величин l_1 и l_2 может быть сделано только приблизительно, причем для практических целей достаточно принять длину l_1 (в саженях) равной $0,2 (i_2 + i_1)$, где i_2 — уклон в тысячных более крутого участка, а i_1 — то-же вышележащего участка; длина l_2 может быть принята в $0,05a (i_2 + i_3)$, где i_3 — уклон в тысячах нижележащего участка, а — длина наиболее крутого участка в саженях; во всяком случае, l_2 не должно быть меньше $0,4 (i_2 + i_3)$.

Чрезвычайно важным вопросом о притяжении укрепления является в выходных руслах искусственных сооружений; действительно, расход в этих руслах больше, чем он был до постройки искусственного сооружения, благодаря добавке воды из нагорных, отводных и т. п. канав; поэтому, самое простое решение, указанное выше и заключающееся в том, что укрепление выходного русла тянется до того места, где оно сливается с естественным, не всегда правильно, особенно — в размываемых грунтах. И, всё-таки, у нас так мало данных для точного решения данного вопроса, что подойти к правильному решению его мы можем лишь опытно, в нижеследующем порядке: если искусственное или разработанное выходное русло, вне пределов конусов, требует укрепления, то укрепление это должно быть продолжено за точку сопряжения с естественным руслом на некоторую длину; эта длина, если уклон естественного русла (i_3) круче уклона искусственного русла (i_2), должна быть равна $l' = 0,2 (i_2 + i_3)$, а если уклон искусственного русла круче естественного, то $l'' = 0,05a (i_2 + i_3)$, где a — длина участка с уклоном i_2 . Но если естественное русло, вблизи от места слияния с искусственным или разработанным, образует видный на глаз перелом уклона, то правильнее продолжать укрепление за этот перелом; если перелом переходит от более крутого уклона к более пологому, то в пределах последнего должна быть взята l' ; если же, наоборот, пологий уклон переходит в значительно более крутой, то укрепление следует делать до конца последнего и прекратить его, лишь дойдя до более пологого участка, захватив последний на длину l'' . В сильно размываемых грунтах этого правила следует безусловно держаться, но если грунт достаточно сопротивляется размыву, то возможно ограничиваться укреплением только участка длиной l' или l'' , ближайшего к искусственному или разработанному руслу.

Во входных руслах, каковы бы ни были условия подхода к ним, укрепление достаточно делать лишь в пределах того участка, где уклон искусственного или углубленного русла круче естественного и продолжить его за точку перелома уклона на длину $l = 0,2 (i_2 + i_1)$. В остальной части искусственного русла иногда следует делать укрепление сплошной дерновкой, если естественное русло было поросшим травой и грунт заставляет опасаться возможности размыва при данном уклоне.

3. Меры против засорения канав и русел.

Как уже сказано выше, недостаточность сечения и чрезмерная крутизна уклона лишь в редких случаях представляют опасность для канавы, если последняя проведена с соблюдением мер, перечисленных в главе VIII. Несравненно

чаще размывы и повреждения полотна происходят от игнорирования только что указанных мер (особенно от отсутствия, недостаточной высоты и неправильной формы берм и banquetов) и от засорения канав или русел. В своем месте (стр. 14) были указаны те предосторожности, которые следует принимать при вырытии канав и русел в местах, где можно ожидать засорения их; но эти меры, предотвращающие, по возможности, отложения осадков в искусственных водотоках, сами по себе далеко не всегда оказываются достаточными и их необходимо дополнять другими, цель которых — уменьшить до возможных пределов количество осадков, приносимых водой. Эти меры одинаковы в канавах разного типа и руслах, а потому их можно рассмотреть одновременно.

Причинами засорения канавы или русла могут быть:

- 1) крупные предметы;
- 2) мелкие песчинки, уносимые, чаще всего, с песчаных откосов долины или с песчаных возвышенностей;
- 3) мелкие земляные частицы, уносимые водой с дна и откосов, размываемых берегов;
- 4) мелкие земляные частицы, уносимые водой с распаханых полей.

Способы борьбы с этими четырьмя видами засорения совершенно различны, а потому ниже рассматриваются отдельно.

А. Засорение крупными предметами, вроде обломков скал, кусков земляных плотин, копен сена и т. д., предотвратить нельзя, а потому, раз таковое засорение возможно, нужно определенно избегать устройства отводных канав, а русла делать по возможности прямыми, с значительным уклоном и достаточно широкими, как это требуется для самого искусственного сооружения.

Б. Засорение песком лучше всего предотвращается лесными насаждениями в той зоне, откуда выносятся пески; для насаждений применяются как некоторые породы ивы, так и сосна, а в разных местностях могут применяться различные местные породы, напр., саксаул. Лучше всего для облесения канав сорт ивы, известный под названием *шелюги* или *красотала* (*Salix acutifolia*, *Salix caspica*); посадка его производится весной, рядами, направленными, по возможности с юго-востока на северозапад, при расстоянии между рядами 0,15—0,20 саж. Посадка может делаться или в прокопанные с осени борозды, отдельными годовальными черенками длиной 0,12—0,15 саж., через каждые 0,05—0,10 саж., или просто укладкой в борозды, проведенные плугом перед самой посадкой, ветвей шелюги, засыпаемых сверху песком из соседней борозды; последний способ применяется чаще.

Для сосновых посадок, пожалуй, еще лучших, чем шелюжные, применяются саженцы в возрасте 1-2 лет, в коли-

честве 10-20 тысяч на десятину, сажаемые правильными рядами в вырытые для них сажальным колом ямки (лунки).

Разумеется, железная дорога далеко не всегда может взять на себя облесение значительной песчаной площади, и, если ей не удастся войти по данному поводу в соглашение с соответствующими местными учреждениями, то приходится ограничиваться облесением лишь сравнительно узкой полосы, непосредственно примыкающей к отчуждению и в пределах последнего.

В. *Засорение мелкими землястыми частицами со дна и склонов оврагов* имеет место чаще всего, по крайней мере — в России, где овраги составляют настоящий бич всей степной полосы и районов, примыкающих к ней. Защита от засорения здесь не может быть достигнута посадками деревьев и кустов, ввиду крутизны берегов и быстрого течения значительных масс воды, которые вымыли-бы посадки; поэтому, защита берега сводится, в конце концов, к закреплению оврагов, причем эту работу на всем протяжении последних железная дорога, опять-таки, далеко не всегда может выполнить и вынуждена ограничиваться защитой лишь примыкающего к ней района оврага. Только уже после заилиения оврага, возможно приступить к окончательному укреплению его посадками.

Там, где размыв оврага еще не успел захватить значительной части по длине, для дороги имеет прямой смысл закрепить овраг, хотя-бы начало размыва было очень далеко от линии, так как этим предотвращаются значительные неудобства и затраты в будущем путем сравнительно небольшой единовременной затраты. Способов закрепления небольшого оврага или начинающих размываться верховьев его, разумеется, может быть несколько, но простейший из них — срезка под правильный откос размываемого участка и укрепление его мостовой, которая захватила-бы и часть местности вне оврага, во избежание появления дальнейших рытин и размывов; мостовую лучше всего делать с поперечными плетнями и, притом, придавая срезке верховья оврага ступенчатый профиль, с высотой уступов не свыше 0,20—0,25 саж. При очень глубоком овраге мостовую лучше заменять каменными водобойными колодцами различных типов. Наконец, для того, чтобы уменьшить скорость воды при подходе к оврагу, так называемое „предовражие“ иногда превращают в отстойник для воды; с этой целью, саженях в трех от начала оврага вырывают ряд канавок, глубиной около 0,33 саж., шириной по дну 0,15—0,20 саж., а землю из канавок выбрасывают в низовую сторону для образования валов, высотой также около 0,33 саж. (черт. 151); ширина бермы между валом и канавкой—0,15 саж. В валах делаются маленькие водосливы, глубиной 0,06 саж., шириной 1 саж., и покрываются дерновкой; против водосливов канавы не вырываются. Направление валов и канав идет, как

показано на чертеже, и концы их упираются в место с такою-же отметкой, как отметка верха валика. Расстояние между последними берется такое, чтобы гребень нижнего вала был на отметке лицевой подошвы верхнего. Число рядов канав и валов может быть различно, в зависимости от крутизны поперечных скатов предовражья; вообще говоря, общая длина валов $a = \frac{Q}{q}$, где Q — полный расход воды в данном месте, а q — количество воды, задерживаемое за 1 пог. единицей вала; очевидно, что при разлатом предовражье длина a уместится в 2-3 рядах, а при крутом число их придется увеличить.

Если размытый овраг имеет значительную длину, то укрепление его мостовой обошлось-бы в колоссальную сумму, а потому только к предовражью и вершине оврага применяют только что указанный способ укрепления, всю-же остальную часть оврага подразделяют на участки, отделенные друг от друга плотинами того или иного типа и предоставляют воде самой содействовать укреплению оврага, путем осаждения в нем взвешенных частиц, опускающихся на дно при уменьшении скорости, вызываемом плотинами.

Для того-же, чтобы уменьшить количество воды, протекающей в овраг, и этим облегчить работу плотин, следует всюду, где только возможно, прорывать вдоль оврага, с каждой стороны его, по нагорной канаве, которой придается надлежащий уклон и которая укрепляется соответственным образом; для этих канав расчет можно считать обязательным. В верховьи (в „предовражьи“) канавы сходятся вместе и тогда вышеописанной системы отстойных валиков можно не делать; между канавой и берегом оврага следует отсыпать довольно высокий вал, чтобы предотвратить переливание воды из канавы в овраг в весеннее время, когда канава забита снегом, так как очистка ее при большой длине крайне неудобна для железной дороги; вал желательно делать из глины и врезать в землю (черт. 152). Имея в виду, что широкая канава в размываемой местности легко засоряется, вал желательно делать возможно прочным и высоким, укрепляя обращенную к канаве сторону и предварительно утрамбовывая его; в этом случае, он, а не канава, будет играть главную роль при защите оврага от попадания воды.

Что касается до плотин, устраиваемых поперек оврага, то они делятся на 2 основные класса: высокие и низкие; кроме того, в особый класс должны быть выделены плетневые илоудержатели.

Несмотря на огромную разницу между всеми этими типами поперечных заграждений, они имеют одну общую черту: плотины или плетни располагаются друг от друга с таким расстоянием, чтобы гребень каждого заграждения находился на одной отметке с подошвой низовой части соседнего вышележащего заграждения. Поэтому, в дальнейшем, при опи-

сании разных видов заграждений, мы уже не будем возвращаться к данному вопросу.

а) *Высокие плотины* бывают земляные и каменные, причем устраиваются они лишь там, где воду, скопляющуюся за ними, можно использовать для тех или иных утилитарных целей (водоснабжения, орошения, получения энергии и т. д.). Плотины эти устраиваются по какому-либо из принятых типов глухих плотин с водосливами; только там, где около плотины имеется поселение, иногда применяются и водоспуски. Описывать устройство высоких плотин мы не будем, так как это отвлекло-бы слишком далеко от основной темы настоящей книги; интересующиеся могут найти описание конструкции высоких плотин в специальных курсах плотин, внутренних водных путей сообщения и т. д.

б) *Низкие плотины*, в отличие от высоких, не являются сооружениями, устраиваемыми раз навсегда; как только пространство позади плотин займется, необходимо зайденный район закрепить, а над ним построить новую систему плотин и так далее, пока не будет зайден весь овраг. В течение каждого периода времени может работать отдельная система плотин, что зависит, разумеется, и от высоты их, и от количества отлагаемых осадков (иногда носящих название „мул“). Закрепление отложившегося „мула“ производится посадкой ивняка *Salix purpurea*, *S. viminalis*, *S. alba*, *S. purpurea* и т. д. Порядок посадки виден из черт. 153, где цифрой I обозначены отложения первой системы, а цифрой II — плотины второй системы; буквою *a* обозначены участки, где должна производиться посадка после того, как мул отложился за плотинами 1-й ступени. Посадка производится в шахматном порядке, при расстоянии между рядами саженцев и саженцами в одном ряду около 0,16 саж.

В плане все низкие плотины делаются прямолинейными, нормально к оси оврага, или криволинейными, с выпуклостью в *верховую* сторону оврага.

Простейшая система низких плотин — *однорядная плетневая* (черт. 154); она состоит из ивового плетня, врезаемого в дно оврага на глубину 0,15 саж. и в бока на глубину не менее 0,50 саж.; плетневые кольца должны иметь толщину около 3 дм. и длину такую, чтобы, после хорошей забивки в грунт, они возвышались над дном оврага на 0,30—0,45 саж.; последняя величина допускается лишь при малом количестве протекающей воды. К краям оврага верх колец и плетня несколько повышается (примерно, на 0,01—0,015 на каждый кол, которые ставятся друг от друга через 0,15 саж.). С верховой стороны плетня делается отсыпь *A* из утрамбованной глины, врезаемая в дно и откосы оврага; ширина площадки *ав*—0,30 саж.; весьма полезно между глинистой отсыпью и плотиной плотно забивать слой навоза. Верх и откосы отсыпи, а равно откосы оврага в месте врезки в них плотины, дернутся, а подошва плетня

с низовой стороны укрепляется фашинами, как показано на чертеже, причем они прибиваются к земле деревянными крючьями, и промежутки плетня забиваются навозом; возможно фашины заменить мостовой с поперечными плетнями.

Более прочный тип плетневой плотины (тройная плетневая плотина) показан на черт. 155; высота верхнего уступа над дном оврага здесь берется в 0,50—0,60 саж. Правильнее всего тройные плетневые плотины устраивать в низовой части оврага, где количество воды больше всего, а одиночные—в верховой.

При отсутствии свежего хвороста, можно делать плотины и из сухого, но это несравненно хуже, по весьма понятным причинам. Если же хворост вообще достать трудно, то приходится прибегать к устройству низких каменных плотин, вполне понятному из черт. 156а; крылья А делаются скошенными вниз, как показано на черт. 156б; высота плотин берется в 0,40—0,60 саж., при ширине по верху, равной половине высоты. Земляная отсыпь В устраивается так же, как в плетневых плотинах. Мостовая в низовой части может быть заменена каменной водобойной подушкой.

Кроме плетневых и каменных, низкие плотины изредка устраиваются и деревянными по черт 157, из которого вполне понятно их устройство.

в) *Плетневые илоудержатели*, в отличие от плотин, свободно пропускают сквозь себя воду и лишь уменьшают ее скорость, чтобы вызвать отложение осадков. Из числа нескольких типов илоудержателей, мы остановимся только на системе швейцарского инженера Иенни, как единственной, давшей удивительные результаты. В этом типе плетни в плане и фасаде имеют шпаную форму (черт. 158); построение плетня в плане делается таким, чтобы каждый плетень образовал с осью оврага угол в 45° ; при узких оврагах, имеется всего один исходящий угол, при широких—несколько. В вершинах исходящих углов, т.е. в низовой части плетня, он имеет наименьшую высоту, а именно—от 0,10 до 0,15 саж. *), а во входящих—вдвое большую. Плетень делается не слишком частым, чтобы вода свободно проходила сквозь него, не образуя подмыва; во избежание последнего плетень обязательно врезается в землю и вдоль него укладываются или узкие полосы мостовой (1—2 камня), или дерновые ленты в 1—2 дернины. Если овраг представляет собой узкую щель, то илоудержателей в ней ставить нельзя, не расширив или не подсыпав ее предварительно; если в дне оврага имеется рытвина, то ее надо срезать или подсыпать прежде, чем ставить плетень.

Вполне естественно, что илоудержатели очень скоро зарываются мулом и их приходится ставить иногда не-

*) Чем быстрее течение, тем ниже должен быть плетень; во всяком случае, выше 0,15 сж. в исходящих углах его делать не следует.

сколько раз в течение года, а именно—весной, после весенних отложений и осенью—после летних.

Раз тем или иным способом дно оврага будет укреплено, необходимо закрепить и откосы, что достигается сперва срезкой или подсыпкой их до полуторной крутизны, а затем—обсевкой травами и обсадкой деревьями. При срезке или подсыпке, вдоль подошвы откоса ставится плетень, одиночный или двойной; в первом случае, плетень высотой 0,25 саж. ставится в расстоянии 0,30 саж. от подошвы откоса и промежутки между ними заполняются землей с плотной утрамбовкой. Во втором случае, внутренний ряд плетня делается у самой подошвы откоса; промежутки между обоими плетнями и подошвой заполняются землей с утрамбовкой; расстояние между рядами плетня берется в 0,30 саж., высота внешнего ряда—0,25 саж. и внутреннего (у самой подошвы откоса) 0,30 саж.

Посадка деревьев по откосам производится рядами, параллельными руслу оврага, при взаимном расстоянии рядов и саженцев в ряду не менее 1-го аршина. Породы, наиболее подходящие для облесения песчаных оврагов—сосна и береза; возможно также применение шелуги. При глинистой почве—дуб, клен, осина, ель, ольха (при сырой местности).

Все перечисленные типы укрепления оврагов могут применяться и там, где нужно бороться не с заиливанием канавы или русла, а с размывом их, т.-е. там, где размыв угрожает линии с низовой ее стороны. Этот случай встречается очень часто и если принять меры в самом начале размыва, вызываемого увеличением количества воды в русле, то они могут оказаться очень дешевыми; наоборот, задержка в принятии нужных мер против размыва может обойтись, в конце концов, весьма дорого.

Г. Засорение канав и русел мелкими землястыми частицами, уносимыми с распаханых полей, хотя и редко принимает крупные размеры, но, зато, происходит на большой длине и неприятно тем, что бороться с ним очень трудно, так как защищаться от него возможно только в полосе отчуждения. Наиболее практичным и, можно сказать, единственным, дающим сколько-нибудь успешные результаты способом борьбы с подобным засорением является устройство плетней системы Иенни вдоль защищаемых канав в пределах всей полосы отчуждения.

4. Специальные типы канав и русел.

Нормальный тип канавы или русла, как известно, трапецевидный, с откосом 1:1½ или, реже, 1:1. Но иногда местные условия заставляют отступать от него и перейти к типу прямоугольного открытого лотка, или, реже, закрытой галлерей различного очертания.

А. Прямоугольные открытые лотки могут устраиваться деревянными, каменными или железобетонными, из

коих первые имеют лишь временный характер, если только по ним не протекает постоянная вода. Все эти типы могут применяться в следующих случаях:

- а) если канава или русло прорыты в плавучем грунте;
- б) если требуется сбережение места;
- в) если верховую воду, при небольшом ее количестве, возможно пропустить по лотку, устраиваемому для каптажа грунтовых вод;
- г) для выпуска воды из выемок, имеющих скат к середине, что встречается при пересечении одной дороги с другой помощью путепроводов.

В первом и в третьем случаях, лотки деревянные или из железобетонных досок лучше всего, во втором же более рациональны каменные или сплошные железобетонные лотки; в четвертом случае, если лоток следует использовать для каптажа грунтовых вод, то применяются лотки деревянные или из железобетонных досок; если в каптаже нужды нет, то каменные или сплошные железобетонные лотки более подходящие. Типы лотков при малой (до 1 саж.) ширине канав и русел берутся совершенно одинаковыми с показанными на черт. 36—38 „Деформаций земляного полотна“ и на черт. 102 настоящей книги (каменный лоток). Но при большой ширине, что чаще всего встречается у русел, приходится прибегать к типам, у которых взаимной связи между обоими стенками не существует. Стены деревянных лотков этого типа делаются иногда из отдельных свай, забранных сзади горизонтальными пластинами, но чаще — из одного или двух рядов шпунтовых, либо вплотную друг к другу забитых круглых свай; иногда свайные ряды усиливаются анкерными сваями, а при типе с заборкой из пластин анкерные сваи можно считать обязательными (черт. 159).

Железобетонные и каменные стены делаются по обычным типам подпорных стен из соответственного материала, с вертикальной передней гранью.

При экономии места, сплошь и рядом приходится канавы пропускать по кюветам и, в этом случае, обделывать откос высокой подпорной стенкой, которая одновременно служит и одной из стен канавы.

Б. Закрытые галереи применяются почти исключительно в городах, вместо отводных канав и малых русел, и представляют собой в этом случае обыкновенные городские водостоки, принятого в данном городе типа, и обычно устраиваемые распоряжением города, который берет на себя также эксплуатацию их.

Вне городов применение закрытых галлерей крайне ограничено; иногда они могут потребоваться, вместо лотков, для выпуска воды из выемок, имеющих скат с обеих сторон к середине. Изредка подземная галлерея применяется взамен очень глубокой отводной канавы, при недостатке места, а особенно, если попутно можно достигнуть осушения откосов. Так

как в обоих вышеуказанных случаях закрытые галереи представляют собой лишь один из возможных способов решения вопроса, то, пожалуй, правильнее всего будет пояснить применение их на конкретном примере. Подобным примером, иллюстрирующим сразу оба случая, является водоотвод на 18-й и 19-й верстах Московско-Казанской ж. д. При постройке 3-го и 4-го путей пригородного участка этой дороги, пришлось сильно углубить на 18-й и 19-й верстах пассажирские пути, чтобы поверх них пропустить один из товарных; в виду этого, под путепроводом получилась площадка в выемке, со скатом к ней с обеих сторон. Грунт в пределах всей выемки оказался насквозь пропитанным водой, причем выяснилось, что одним из главнейших источников насыщения водой является низина А с прудом на 18-й версте. Так как вся местность кругом застроена, то дать выпуск воде поперек пути с соответственным углублением русла не представлялось никакой возможности, а устройству открытой канавы мешал кавальер, еще в 60-х годах отсыпанный с нагорной стороны линии на всю ширину отчуждения. В виду этого, для отвода воды был принят следующий способ: от низины А до точки Б (черт. 160) прорыта открытая отводная канава, которая далее, в районе кавальера, расположенного между Б и В переходит в штольню, устроенную по типу, черт. 62 „Деформаций“; штольня была сделана в открытом котловане и после засыпана землей, послужив прекрасным дренажем для осушения откосов выемки; длина ее—около 250 саж. и через каждые 30 саж. над штольней установлены деревянные колодцы. От точки В до железного моста Е снова идет открытая канава, служащая, одновременно, и нагорной.

Отвод воды от путепровода Г сделан помощью железобетонной трубы отв. 0,33 саж., проложенной с подгорной стороны линии и принимающей в себя воду из верхового лотка выемки (в виду водоносности грунта, оба кювета выемки ВГ были заменены лотками) помощью поперечной железобетонной трубы Д (уложенной вместо первоначально запроектированного каменного лотка). Отводная труба, заложённая на значительной глубине, для возможности приема воды из глубоких кюветных лотков, проходит под руслом железного моста Е и каменной трубы Ж и далее идет вдоль всей станции Люберцы до впадения в глубокую низину, расположенную в полуверсте от станции (вне пределов черт. 160). Общая длина железобетонной трубы—около 2 верст; через каждые 30 сажен на ней поставлены железобетонные колодцы (из труб отв. 0,50 саж.).

Приведенный здесь пример можно считать достаточно типичным, равно как и принятые в нем типы закрытых галерей, которыми чаще всего бывают, не считая городских коллекторов, деревянные штольни и круглые (изредка—овальные) железобетонные трубы.

Расчет отверстия моста через реку Красную на 589-ой версте линии Арзамас-Шихраны.

Река Красная, правый приток р. Цивиль, пересекается линией Арзамас-Шихраны на 589-ой версте последней, на две версты выше ее впадения в р. Цивиль.

Река Красная не судоходна и не сплавная.

Наибольший расход воды определен по живому сечению в месте перехода.

Скорости наблюдались в двух сечениях (в створах № 1 и № 2) при горизонте высоких вод по месту перехода 44,63 и измерялись поплавками.

Данные для расчета.

1. Площадь бассейна, соответствующая месту перехода—67.35 кв. вер.

2. Живое сечение по оси перехода.

3. Отметка горизонта самых высоких вод по оси перехода—44.80.

4. Отметка меженного горизонта по оси перехода—43,71.

5. Уклон высоких вод главного русла, наблюдаемый при отметке 44.63, $i = 0.00032$.

Уклон самых высоких вод как для главного русла, так и для лойм принять равным уклону i .

6. Средняя из наблюдаемых скоростей в главном русле при горизонте 44.63 равна 0.452 саж. в сек.

К расчету приложены: живое сечение в месте перехода, план перехода линией в горизонталях с показанием расположения створов № 1 и № 2 и профили означенных створов.

Скорости в сечениях определены по формуле Ganguillet и Kutter'a:

$$V = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i}}{1.4607 + (23 + \frac{0.00155}{i}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \times \sqrt{Ri}$$

В этой формуле коэффициент шероховатости принят для пойм $n = 0.030$. Для главного-же русла он определен из сравнения скорости, наблюдаемой при горизонте 44.63, со скоростью, определяемой по формуле Гангилье и Куттера, при том-же горизонте.

Определение коэффициента шероховатости в формуле Гангилье и Куттера для главного русла.

Створ № 1 при горизонте высоких вод 44.64, соответствующем горизонту 44.63 в месте перехода.

ТАБЛИЦА № 1.
Гидравлические элементы.

Глубина h	$\frac{h+h_1}{2}$	Расстояние l	Площадь $\omega = \frac{h+h_1}{2} \times l$	$d = h - h_1$	Подводный периметр $p = \sqrt{l^2 + d^2}$
0	0.095	0.80	0.076	0.19	0.82
0.19	0.54	1.00	0.540	0.70	1.22
0.89	1.175	1.00	1.175	0.57	1.15
1.46	1.475	1.00	1.475	0.03	1.00
1.49	1.24	1.00	1.240	0.50	1.12
0.99	0.725	1.00	0.725	0.53	1.13
0.46	0.44	1.00	0.440	0.04	1.00
0.42	0.21	1.20	0.210	0.42	1.27
0		$\Sigma\omega = 5.92$		$\Sigma p = 8.71$	

Подводный радиус $R = \frac{\Sigma\omega}{\Sigma p} = \frac{5.92}{8.71} = 0.680$ саж.

Створ № 2 при горизонте высоких вод 44.62, соответствующем горизонту 44.63 в месте перехода.

ТАБЛИЦА № 2.
Гидравлические элементы.

Глубина h	$\frac{h+h_1}{2}$	Расстояние l	Площадь $\omega = \frac{h+h_1}{2} \times l$	$d = h - h_1$	Подводный периметр $p = \sqrt{l^2 + d^2}$
0	0.265	0.58	0.154	0.53	0.79
0.53	0.725	1.00	0.725	0.39	1.07
0.92	1.195	1.00	1.195	0.55	1.14
1.47	1.490	1.00	1.490	0.04	1.00
1.51	1.490	1.00	1.490	0.04	1.00
1.47	1.010	1.00	1.010	0.92	1.36
0.55	0.490	1.00	0.495	0.11	1.01
0.44	0.220	0.48	0.106	0.44	0.67
0		$\Sigma\omega = 6.665$		$\Sigma p = 8.04$	

$$\text{Подводный радиус } R = \frac{\Sigma \omega}{\Sigma p} = \frac{6.665}{8.04} = 0.829 \text{ саж.}$$

$$\text{Средний подводный радиус } R = \frac{0.680 + 0.829}{2} = 0.755 \text{ с.}$$

По таблице № 1 Мееровича для $R = 0.755$ саж., $i = 0.00032$ и скорости $V = 0.452$ саж./сек.; коэффициент шероховатости получается весьма близким к обычно принимаемому значению его для главного русла $n = 0.025$, почему в дальнейшем при определении наибольшего расхода коэффициент шероховатости n для главного русла принят равным 0.025.

Определение наибольшего расхода.

Живое сечение по оси перехода.

Горизонт самых высоких вод — 44.80.

ТАБЛИЦА № 3.

Гидравлические элементы.

Глубина h	$\frac{h+h_1}{2}$	Расстояние l	Площадь $\omega = \frac{h+h_1}{2} \times l$	$d = h - h_1$	Подводный периметр $p = \sqrt{l^2 + d^2}$	Подводный радиус $R = \frac{\Sigma \omega}{\Sigma p}$	Уклон сам. высок. вод i	Коэффициент шероховат. n	Скор. по форм. Ганг. и Кут. v	Расход Q
а) Левая пойма.										
0	0.01	2.00	0.520	0.02	2.00	0.01	0.00032	0.030	0.009	0
0.52										
б) Главное русло.										
0.02	0.095	1.00	0.095	0.15	1.01	$R = \frac{8.786}{10.72} = 0.821$				
0.17	0.280	1.00	0.280	0.22	1.02					
0.39	0.745	1.00	0.745	0.71	1.23					
1.10	1.430	1.00	1.430	0.66	1.20					
1.76	1.720	1.00	1.720	0.08	1.00		0.00032	0.025	0.491	4.314
1.68	1.545	1.00	1.545	0.27	1.04					
1.41	1.260	1.00	1.260	0.30	1.04					
1.11	0.935	1.00	0.935	0.35	1.07					
0.76	0.585	1.00	0.585	0.35	1.07					
0.41	0.205	0.93	0.191	5.41	1.02					
0										
			$\Sigma \omega = 8.786$		$\Sigma p = 10.72$					

Глубина h	$\frac{h + h_1}{2}$	Расстояние l	Площадь $\omega = \frac{k + h_1}{2} \times l$	$d = h - h_1$	Подводный периметр $p = \sqrt{l^2 + d^2}$	Подводный радиус $R = \frac{\sum \omega}{\sum p}$	Уклон самых высок. вод i	Коэффициент шороховат. n	Скорость по форм. Галл. и Кут. v	Расход Q
в) Правая пойма.										
0	0.07	35.00	2.45	0.14	35.00	$R = \frac{12.985}{140.18} = 0.093$				
0.14	0.110	50.00	5.50	0.06	50.00					
0.08	0.095	50.00	4.75	0.03	50.00					
0.11	0.055	5.18	0.285	0.11	5.18		0.00032	0.530	0.079	1.026
0										
			$\sum \omega = 12.985$	$\sum p = 140.18$						

Полный расход во всем сечении:

$$Q = 4.314 \times 1.026 = 5.34 \text{ саж. }^3/\text{сек.}$$

Определение отверстия.

Допуская, что расход в сечении по оси перехода равен определенному выше теоретическому расходу $Q = 5.34$ куб. саж. и полагая, что размыв ложа под мостом прекратится, когда скорость при высоких водах достигнет средней скорости в главном русле живого сечения по линии перехода, примем в основание расчета отверстия моста расход $Q = 5.34$ куб. саж. и среднюю скорость $V = 0.941$ саж./сек.

Задавая отверстие моста в 7 саж. и разработав русло до горизонта меженных вод, т. е. до отметки 43.71, получим в начале постройки моста живое сечение по мостом при горизонте высоких вод 44.80:

$\Omega = \Sigma\omega + (44.80 - 43.71) \times 7$, где $\Sigma\omega$ — площадь живого сечения по линии перехода при горизонте меженных вод, исчисленная по нижеследующей таблице:

Глубина h	$\frac{h + h_1}{2}$	Расстояние l	Площадь $\omega = \frac{h + h_1}{2} \times l$
0	0.005	0.01	0.000
0.01	0.340	1.00	0.340
0.67	0.630	1.00	1.630
0.59	0.455	1.00	0.455
0.32	0.170	1.00	0.170
0.02	0.010	0.06	0.001
0	$\Sigma\omega = 1.596$		

Подставляя в формулу для Ω вместо $\Sigma\omega$ его значение имеем:

$$\Omega = 1.596 + 1.09 \times 7 = 9.23 \text{ кв. саж.}$$

Необходимая площадь живого сечения под мостом, при которой размыв ложа прекратится:

$$\Omega_1 = \frac{Q}{\mu \cdot V} = \frac{5.34}{0.95 \times 0.491} = 11.45 \text{ кв. саж.}$$

Коэффициент размыва:

$$\frac{\Omega_1}{\Omega} = \frac{11.45}{9.23} = 1.24.$$

Наибольшая глубина до размыва

$$h_{\max} = 44.80 - 43.04 = 1.76 \text{ саж.}$$

Наибольшая глубина после размыва

$$h_{\max} = 1.76 \times 1.24 = 2.18 \text{ саж.}$$

Наибольший теоретический размыв

$$h_{\max} = 2.18 - 1.76 = 0.42 \text{ саж., т. е. размыв распространяется до отметки } 43.04 - 0.42 = 42.62.$$

Вследствие уменьшения площади живого сечения при устройстве моста сравнительно с существующей до стеснения русла, скорость в отверстии моста увеличится до:

$$V^1 = \frac{5.34}{0.95 \times 9.23} = 0.609 \text{ саж./сек.}$$

и появится подпор:

$$y = \frac{0.609^2 - 0.491^2}{9.20} = 0.015 \text{ саж.}$$

Поверна достаточности принятого отверстия моста по формуле инженера Белинского, предложенной циркуляром Министерства Путей Сообщения за № 11230 от 11 ноября 1877 года.

Необходимая площадь живого сечения весенних вод под мостом должна быть:

$$\Omega = K \times A \text{ кв. саж., где}$$

$A = 67.35$ кв. вер. — площадь бассейна.

$K = 0.07$ — коэффициент для площадей бассейна от 50 до 100 кв. вер.

Следовательно:

$$\Omega = 0.07 \times 67.35 = 4.72 \text{ кв. саж.}$$

В действительности-же при принятом отверстии моста в 7 саж. площадь живого сечения под мостом:

1) до размыва — 9.23 кв. саж.

2) после размыва — 11.45 кв. саж., т. е. в обоих случаях площадь живого сечения под мостом больше площади, требуемой циркуляром.

Формула Лаутербурга.

Формула Лаутербурга приводит три случая:

- а) непрерывный дождь в течение 4 суток со средней суточной толщиной выпадающего слоя 50 мм.;
- б) проливной дождь в течение суток, с толщиной выпадающего слоя 250 мм.;
- в) ливень в течение часа, дающий *секундную* толщину слоя 0,035 мм.

Приведенные выше дифры представляют собой наибольшие, наблюдающиеся в Швейцарии, толщины слоя осадков для различных условий; если желают применить формулу Лаутербурга для другой страны с иными условиями выпадения осадков, то приходится делать соответственное изменение в отношении $\frac{h_1}{h}$, где h — вышеприведенная

толщина слоя осадков для разных продолжительностей дождя или ливня в Швейцарии, а h_1 — в данном районе. Если для данного района неизвестны толщины водного слоя для трех вышеупомянутых случаев, то отношение

$\frac{h_1}{h}$ может быть взято для *годовых* осадков указанного района и Швейцарии; конечно, это не особенно точно, а иногда и очень неточно, так как соотношение в толщине часового ливня, суточного проливного дождя и четырехсуточного дождя в некоторых местностях может быть совершенно иных, чем наблюдаемое Лаутербургом в Швейцарии.

Секундный расход в куб. метрах по Лаутербургу равен:

- а) для четырех-суточного дождя:

$$Q_1 = 0,96 F \left(\frac{7}{6 + 0,001 F} + 0,006 \right) + 0,2 f$$

- б) для суточного проливного дождя:

$$Q_2 = q + 2,9 a F \left(\frac{114}{115 + 0,05 F} + 0,007 \right) + 0,12 f$$

- в) для ливня в течение часа:

$$Q_3 = q + 35 a F \left(\frac{32}{31 + F} \right) + 0,05 f.$$

Здесь F — площадь бассейна в кв. км., f — площадь глетчеров (в кв. км.), если таковые встречаются в пределах бассейна, q — секундный расход в куб. м. постоянно-протекаю-

щей воды, α — переменный коэффициент, зависящий от местных условий. Величины q и α почти не влияют на величину Q_1 , почему при определении ее они и не учитываются.

Величины α сведены в следующую таблицу:

Характер бассейна.	Проницаемость грунта и средняя крутизна уклона и боковых скатов.								
	Водонепроницаемый грунт.			Грунт средней проницаемости.			Грунт сильно поглощающий.		
	Крут.	Средн.	Полог.	Крут.	Средн.	Полог.	Крут.	Средн.	Полог.
I. Горные районы.									
1. Ледниковые области, морены, густые леса	0.65	0.55	—	0.55	0.45	—	0.45	0.35	—
2. Поля, мелкий лес	0.75	0.65	—	0.65	0.55	—	0.55	0.45	—
3. Луга и выгоны	0.85	0.75	—	0.75	0.65	—	0.65	0.35	—
4. Обнажен. скалистый грунт..	0.90	0.80	—	0.80	0.70	—	0.70	0.60	—
II. Холмистые и равнинные районы.									
1. Густые леса, валунные и галечные отложения, каменистые и песчаные пустыни.	—	0.55	0.45	—	0.45	0.35	—	0.35	0.25
2. Поля, мелкий лес	—	0.65	0.35	—	0.55	0.45	—	0.45	0.35
3. Луга и выгоны	—	0.75	0.65	—	0.65	0.55	—	0.55	0.45
4. Обнажен. скалистый грунт..	—	0.80	0.70	—	0.70	0.60	—	0.60	0.50

Влияние озер и болот в пределах бассейна не учтено, почему при наличии относительно большой площади их необходимо вводить в формулу соответственные поправки.

Определив величины Q_1 , Q_2 и Q_3 , сравнивают их между собою и для определения отверстия берут наибольшую. Очевидно, что для малых бассейнов Q_3 всегда будет больше, чем Q_1 и Q_2 , тогда как при бассейне в несколько сот квадратных километров наивыгоднейшим может оказаться случай Q_1 или Q_2 .

Из вышеизложенного видно, что формула Лаутербурга применима не только для малых бассейнов, но и для средних, где значительные дожди могут вызвать большие наводки. В наших условиях формула Лаутербурга может быть применена для проверки расхода горных рек и речек, а также тех равнинных небольших рек, которые протекают по незаселенной местности, а потому для них затруднительно определение весеннего расхода за прошлые года.

ТАБЛИЦА № 1

уклонов, соответствующих разным размерам воображаемого русла при расходе $Q = 1$ куб. сажени для земляного ложа.

Глубина a в саж.	ПРОДОЛЬНЫЕ УКЛОНЫ i ПРИ ШИРИНЕ ВООБРАЖАЕМОГО РУСЛА b (в саж.)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.10	5.807	1.221	0.511	0.296	0.177	0.120	0.089	0.067	0.052	0.042
0.20	0.532	0.101	0.0409	0.0216	0.0135	0.00915	0.00661	0.00502	0.00393	0.00312
0.30	0.145	0.0254	0.00987	0.00516	0.00316	0.00211	0.00153	0.00115	0.000901	0.000720
0.40	0.0612	0.00996	0.00375	0.00193	0.00117	0.000708	0.000559	0.000419	0.000326	0.000261
0.50	0.0319	0.00495	0.00181	0.000920	0.000552	0.000366	0.000260	0.000195	0.000151	0.000126
0.60	0.0193	0.00284	0.00102	0.000509	0.000303	0.000200	0.000142	0.000106	0.0000817	0.0000648
0.70	0.0127	0.00179	0.000633	0.000312	0.000185	0.000121	0.0000857	0.0000633	0.0000489	0.0000388
0.80	0.00885	0.00123	0.000422	0.000207	0.000121	0.0000712	0.0000556	0.0000410	0.0000316	0.0000250
0.90	0.00649	0.000870	0.000262	0.000144	0.0000840	0.0000547	0.0000382	0.0000282	0.0000211	0.0000170
1.00	0.00495	0.000648	0.000219	0.000105	0.0000609	0.0000395	0.0000275	0.0000202	0.0000151	0.0000122
1.10	0.00388	0.000491	0.000167	0.0000794	0.0000457	0.0000294	0.0000204	0.0000141	0.0000115	0.00000902
1.20	0.00313	0.000394	0.000130	0.0000615	0.0000353	0.0000227	0.0000156	0.0000114	0.00000876	0.00000688
1.30	0.00257	0.000318	0.000104	0.0000489	0.0000279	0.0000179	0.0000124	0.00000900	0.00000683	0.00000538
1.40	0.00215	0.000362	0.0000846	0.0000396	0.0000224	0.0000143	0.00000987	0.00000719	0.00000545	0.00000428
1.50	0.00183	0.000218	0.0000700	0.0000326	0.0000184	0.0000117	0.00000803	0.00000584	0.00000443	0.00000347

Примечание. Для значений Q , отличающихся от единиц, табличные величины нужно умножить на Q^2 .

Т А Б Л И Ц А № 2.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАДИУСЫ R ПРИ ШИРИНЕ ВОБРАЖАЕМОГО РУСЛА b (в саж.).																				
Глубина d в саж.	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	
0.05	0.045	0.047	0.048	0.048	0.048	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.050	
0.10	0.083	0.088	0.091	0.093	0.094	0.095	0.095	0.096	0.096	0.096	0.097	0.097	0.097	0.097	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	
0.20	0.143	0.158	0.167	0.172	0.176	0.179	0.182	0.184	0.185	0.186	0.188	0.188	0.189	0.190	0.190	0.191	0.191	0.192	0.192	
0.30	0.188	0.214	0.231	0.242	0.255	0.256	0.261	0.265	0.268	0.270	0.273	0.275	0.276	0.278	0.279	0.280	0.281	0.282	0.283	
0.40	0.222	0.261	0.286	0.303	0.316	0.326	0.333	0.340	0.345	0.349	0.353	0.356	0.359	0.361	0.364	0.366	0.367	0.369	0.370	
0.50	0.250	0.300	0.333	0.357	0.375	0.389	0.400	0.409	0.417	0.423	0.429	0.433	0.438	0.441	0.444	0.447	0.450	0.452	0.454	
0.60	0.273	0.333	0.375	0.405	0.429	0.447	0.462	0.474	0.484	0.493	0.500	0.506	0.512	0.517	0.522	0.526	0.529	0.533	0.536	
0.70	0.292	0.362	0.412	0.449	0.477	0.500	0.519	0.534	0.547	0.558	0.568	0.576	0.583	0.590	0.596	0.601	0.606	0.610	0.614	
0.80	0.308	0.387	0.444	0.488	0.522	0.549	0.571	0.590	0.606	0.620	0.632	0.642	0.651	0.659	0.667	0.673	0.679	0.685	0.690	
0.90	0.321	0.409	0.474	0.523	0.563	0.594	0.621	0.643	0.662	0.678	0.692	0.705	0.716	0.726	0.735	0.743	0.750	0.757	0.763	
1.00	0.333	0.430	0.500	0.556	0.600	0.636	0.667	0.692	0.714	0.733	0.750	0.765	0.778	0.789	0.800	0.810	0.819	0.826	0.833	
1.10	0.344	0.446	0.524	0.585	0.635	0.675	0.710	0.739	0.764	0.786	0.805	0.822	0.837	0.853	0.863	0.874	0.884	0.893	0.902	
1.20	0.353	0.462	0.545	0.612	0.667	0.712	0.750	0.783	0.811	0.835	0.857	0.876	0.894	0.909	0.923	0.936	0.947	0.958	0.968	
1.30	0.361	0.476	0.565	0.637	0.697	0.746	0.788	0.824	0.855	0.883	0.907	0.929	0.948	0.965	0.981	0.996	1.009	1.021	1.032	
1.40	0.368	0.489	0.583	0.660	0.724	0.778	0.824	0.863	0.898	0.928	0.955	0.979	1.000	1.020	1.037	1.053	1.068	1.081	1.094	
1.50	0.375	0.500	0.600	0.682	0.750	0.808	0.857	0.900	0.938	0.971	1.000	1.027	1.050	1.071	1.091	1.109	1.125	1.140	1.154	

Расчет отверстия моста

через _____, на _____ версте, пикет
№ _____, при высоте насыпи _____ саж. и при отм. бровки
полотна _____

Принятое отверстие моста _____ саж.

Площадь бассейна, полученная об-
ходом на месте Ω = _____ кв. верст.

Длина бассейна S = _____ верст.

Уклон на 50 саж. выше и ниже
сооружения i = _____

Средний уклон водотока или лога
от водораздела до сооружения i_0 = _____

Поперечный профиль русла у сооружения:

Наибольший расход для данного тальвега, по Кестлину:

$$Q = 1.875 \times \Omega \times L = 1.875 \times \text{---} \times \text{---} = \text{---} \text{ куб. саж}$$

(L —коэффициент, зависящий от длины и уклона бассейна i^0 , по данным № 1).

Подбирая опытным путем, при данных бытовых условиях тальвега, горизонт притекающей воды, соответствующий найденному расходу, получим его при отметке _____

Действительно, площадь живого сечения:

$$\omega = \text{---} = \text{---} \text{ кв. саж.}$$

Подводный периметр:

$$p = \text{---} = \text{---} \text{ саж.}$$

Подводный радиус:

$$R = \frac{\omega}{p} = \text{---} = \text{---} \text{ саж.}$$

Средняя скорость для земляного ложа, по Базену:

$$v = c \sqrt{Ri}$$

По таблице № 2, для данного $R = \text{_____}$ саж.,
находим $c = \text{_____}$

и
$$a = c \sqrt{Ri} = \text{_____} \times \sqrt{\text{_____}} = \text{_____} \text{ саж.}$$

Тогда расход:

$$\omega.v = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ куб. саж.}$$

Полученный расход весьма мало разнится от расхода, определенного по нормам Кестлина, а потому найденный горизонт притекающего потока, соответствующий отметке _____ может быть принят за истинный.

Допуская далее скорость по дну русла под сооружением, $w = \text{_____}$ саж., при соответственном укреплении его _____, будем иметь среднюю скорость в отверстии сооружения по таблице № 3, $v_0 = \text{_____}$ саж., при чем v_0 будет больше $v = \text{_____}$ саж.; тогда высота, соответствующая скорости протекающей воды:

$$k = \frac{v^2}{2g} = \frac{\text{_____}}{9.20} = \text{_____} \text{ саж.}$$

Подпор у сооружения:

$$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} = \frac{\text{_____}}{9.20} = \text{_____} \text{ саж.}$$

Наибольшая глубина потока, по профилю:

$$a = \text{_____} \text{ саж.}$$

Отверстие моста l определится из формулы неполного водослива:

$$l = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}] + a(h+k)^{1/2} \right\}},$$

где $\mu = 0.90$, $2g = 9.20$ саж. формула по упрощении принимает вид:

$$l = \frac{Q}{0.0652 (v_0^3 - v^3) + 0.90 a v_0}.$$

По Таблице II Мееровича, при $a = \text{_____}$ саж. и $v = \text{_____}$ саж.:

$$l = Q.b' = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ саж.}$$

Окончательно принятое отверстие моста: $l_0 =$ _____ саж.

В зависимости от окончательно принятого отверстия моста, определяем среднюю действительную скорость u в сооружении и действительный подпор h' , пользуясь выше-приведенной формулой:

$$l_0 = \frac{Q}{(0,0652 u^2 + 0,90 a u) - 0,0652 v^2},$$

которая при обозначении через:

$$M = 0,0652 u^2 + 0,90 a u \text{ и } N = 0,0652 v$$

принимает вид:

$$l_0 = \frac{Q}{M - N}.$$

$$\text{Отсюда } M - N = \frac{Q}{l_0} \text{ и } M = \frac{Q}{l_0} + N.$$

По таблице III Мееровича, при $a =$ _____, $\frac{Q}{l_0} =$ _____

и $v =$ _____ саж., средняя действительная скорость в сооружении $u =$ _____ саж.

Действительный подпор у сооружения:

$$h' = \frac{u^2 - v^2}{2g} = \frac{\quad}{9,20} = \text{_____ саж.}$$

Высота действительного подпорого горизонта:

$$H' = a + h' = \text{_____ саж.}$$

Его отметка _____.

Наини́зшая отметка бровки полотна должна составлять:

$$+ \text{_____} = \text{_____} < \text{_____} \text{ (действ. отм. бровки полотна).}$$

Вспомогательные данные.

№ 1. При определении расхода по нормам Кестлина, согласно циркуляра Министерства Путей Сообщения от 16 июня 1884 года за № 5167, численное значение коэффициента L принимается для бассейнов:

длиною	до	$3\frac{1}{2}$ верст.....	0,50;
„	от $3\frac{1}{2}$ „	7 „ от 0,375 до 0,25;
„	„ 7 „	$10\frac{1}{2}$ „ 0,188;
„	„ $10\frac{1}{2}$ „	14 „ 0,125;
„	„ 14 „	$17\frac{1}{2}$ „ 0,063;

Примечание. Для бассейнов, уклон которых менее 0,005, коэффициент L может быть уменьшен на половину.

ТАБЛИЦА № 2.

Значение коэффициента c в формуле Базена $v = c\sqrt{R_i}$, определенных из равенства:

$$c = \frac{1}{\sqrt{0,0005974 + \frac{0,00035}{R}}}$$

[illegible]

№ 3. При заданной скорости по дну русла, стесненного сооружением, для определения соответствующей средней скорости в отверстии сооружения, имеем зависимость между скоростями по дну — w , на поверхности — u' и средней скоростью v_0 :

по Прони $v_0 = u' \times \frac{u' + 2,37}{u' + 3,15}$, по Дюбуа $w = 2v_0 - u'$ (в метр.).

Из этих уравнений, при данном w , находим:

$$v_0 = 0,75 w - 0,40 + 0,50 \sqrt{\left(\frac{w - 1,59}{2}\right)^2 + 3,15 w} \text{ (в метр.)}.$$

Задаваясь различными скоростями по дну, в зависимости от скорости протекающей воды и укрепления русла, получим средние скорости:

Грунт русла и его укрепление.	Допускаемая скорость по дну w .		Соответствующая средняя скорость v_0 .
	Фут.	Саж.	Саж.
1) Плотный песок	3	0.430	0.538
2) Плотный глинистый грунт	5	0.714	0.880
3) Каменистый грунт, или укрепленный одиночной мостовой	7	1.000	1.170
4) Скалистый, или укрепленный двойной мостовой	10	1.430	1.630
5) Лоток из каменной кладки	14	2.000	2.228
6) Деревянный лоток	20	2.875	3.110

Расчет отверстия каменной трубы

через _____, на _____ версте, пикет
№ _____, при высоте насыпи _____ саж. и при отм. бровки
полотна _____

Принятое отверстие трубы _____ повышенн _____
звен _____ саж.

Высота от низа лотка до ключа свода повышенного
звена _____ саж.

Высота от низа лотка до ключа свода нормального
звена _____ саж.

Отметка дна лотка входного звена _____

Площадь бассейна, полученная об-
ходом на месте..... $\Omega =$ _____ кв. верст.

Длина бассейна..... $S =$ _____ верст.

Уклон на 50 саж. выше и ниже
сооружения..... $i =$ _____

Средний уклон водотока или лога
от водораздела до сооружения..... $i^0 =$ _____

Поперечный профиль русла у сооружения:

Наибольший расход для данного тальвега, по Кестлину

$$Q = 1.875 \times \Omega \times L = 1.875 \times \text{---} \times \text{---} = \text{---} \text{ куб. саж.}$$

(L —коэффициент, зависящий от длины и уклона бассейна i_0 ,
по данным № 1).

Пользуясь данными таблицами № 2, подбираем наиболее
подходящий тип трубы, соответствующий определенному
расходу и данной высоте насыпи (графы 6 и 7).

Принят тип трубы _____ повышенн _____
звен _____
отверстием _____ саж.

при высоте от низа лотка до ключа свода повышен-
ного звена _____ саж.

при высоте от низа лотка до ключа свода нормального звена _____ саж.

Для выбранного типа находим из таблицы № 2

расход: _____ кв. саж. > _____ кв. саж.

Наименьшая высота насыпи _____ саж. < _____ саж. *).

Наименьший необходимый уклон лотка трубы (графа 5).

$$i = \frac{\omega}{p}$$

В тех случаях, когда есть основание предполагать, что уровень протекающей воды к сооружению может оказаться выше определяемого по формулам Bresse'a уровня подпорного горизонта перед сооружением (напр., в случае применения по особым соображениям трубы большего отверстия, чем то требуется по расходу, в случае крутых берегов, узкого лога и значительного его падения), следует убедиться на основании нижепомещенного расчета в том, что это предположение имеет место в действительности.

Подбирая ощупью, при данных бытовых условиях тальвега, горизонт притекающей воды, соответствующий найденному расходу, получим его при отметке _____

Действительно, площадь живого сечения:

$$\omega = \text{_____} = \text{_____ кв. саж.}$$

Подводный периметр:

$$p = \text{_____} = \text{_____ саж.}$$

Подводный радиус:

$$R = \frac{\omega}{p} = \text{_____} = \text{_____ саж.}$$

И средняя скорость для земляного ложа, по Bazin'у:

$$c = c \sqrt{Ri}.$$

По таблице № 3, для данного $R = \text{_____}$ саж., находим $c =$

$$c = c \sqrt{Ri} = \text{_____} \times \sqrt{\text{_____}} = \text{_____ кв. саж.}$$

*) В тех случаях, когда для возможности применения выбранного типа трубы необходима высота насыпи, лишь немного превышающая данную, следует определить скорость притекания воды к сооружению c и уменьшить высоту подпорного горизонта на величину соответствующего этой скорости напора $k = \frac{c^2}{2g}$.

Тогда расход:

$$Q.v = \text{---} \times \text{---} = \text{---} \text{ куб. саж.}$$

Полученный расход весьма мало разнится от расхода, определенного по нормам Köstlin'a, а потому найденный горизонт притекающего потока, соответствующий отметке _____ может быть принят за истинный.

Высота, соответствующая скорости притекания воды:

$$K = \frac{v^2}{2g} = \text{---} \text{ саж., где } 2g = 9.20 \text{ саж.}$$

Отверстие трубы l в саженях по формуле Bresse'a, измененной на основании опытов Castell'a и Lesbros и дающей 10%, запаса в величине отверстия против формулы Bresse'a:

$$l = \frac{5,06Q}{V^3} = \text{---} \text{ саж., где}$$

V —средняя скорость в трубе, зависящая от принятой скорости по дну.

По таблице № 4 при укреплении лотка трубы _____

при $W = \text{---}$ саж., $V = \text{---}$ саж. и $l = \text{---}$ саж.,

принимаем $l = \text{---}$ саж.

По предыдущей формуле средняя скорость в трубе при принятом отверстии:

$$V_0 = \sqrt[3]{\frac{5,06Q}{l}} = \sqrt[3]{\text{---}} = \text{---} \text{ саж./сек.}$$

Подпорный горизонт:

$$y = 0,3261 V_0^2 - k = \text{---} \text{ саж.}$$

Отметка подпорного горизонта _____

Толщина протекающего в трубе слоя воды:

$$\eta = 0,2174 V_0^2 = \text{---} \text{ саж.}$$

Так как отметка горизонта притекающей воды _____ больше отметки подпорного горизонта _____, то сечение трубы не будет невыгоднейшим.

Допустив высоту слоя протекающей в трубе воды на одном уровне с притекающей к сооружению h ,

$$\eta = h = \text{---} \text{ саж.,}$$

тогда при условии $y + k - \eta = y + \frac{v^2}{2g} - h = \frac{V^2}{2g}$,
в зависимости от допущенной средней скорости $v =$ _____
саж./сек., будем иметь отверстие трубы по формуле Bresse'a:

$l = \mu \times \eta \sqrt{2g(y + k - \eta)} = \frac{Q}{0.85 h V} = 1.176 \frac{Q}{h \times V}$, где
 $= 0.85$ — коэффициент сжатия для трубки в боковой стенке;

$$l = 1.176 \times \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{саж.}$$

Высота подпорного горизонта:

$$y = h + \frac{V^2 - v^2}{2g} = \quad + \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{саж.}$$

Высота трубы до замка свода $H = \quad > y +$
 $= \quad$ саж.

Необходимый уклон трубы по Bazin'у для каменных стенок

$$i = \left(a + \frac{\beta}{R} \right) \frac{V^2}{R} = \left(0.0005117 + \frac{0.00006}{R} \right) \frac{V^2}{R}$$

при:

$$R = \frac{\text{живое сечение трубы}}{\text{смоченный периметр трубы}} = \quad = \quad \text{саж.}$$

$$\text{и} \quad i = \left(0.0005117 + \frac{0.00006}{R} \right) \times \frac{\quad}{\quad} = \quad$$

Вспомогательные данные.

№ 1. При определении расхода по норме, Köstlin'a, согласно циркуляра Министерства Путей Сообщения от 16 июня 1884 года за № 5167, численное значение коэффициента L принимается для бассейнов:

длиною	до $3\frac{1}{2}$ верст.....	0,50;
"	от $3\frac{1}{2}$ " 7 "	от 0,375 до 0,25;
"	" 7 " $10\frac{1}{2}$ "	1,188;
"	" $10\frac{1}{2}$ " 14 "	0,125;
"	" 14 " $17\frac{1}{2}$ "	0,063;

Примечание. Для бассейнов, уклон которых менее 0,005, коэффициент L может быть уменьшен на половину.

ТАБЛИЦА № 2
для подбора отверстий каменных труб.

Отверстия труб.	Типы труб.	Высота трубы от дна лотка до ключа саж.		Высота подпорного гориз. от дна лотка саж.	Высота протекающего слоя воды саж.	Скорость протекания воды в саж.	Площадь живого сечения кв. саж.	Наименьший уклон трубы i.	Наименьшая высота насыпи саж.	Расход пропускаемый трубой куб. саж.
		Пов. звено.	Норм. звено.							
0.50	Без повыш. звена		0.85	0.45	0.30	1.180	0.16	5.0088	1.36	0.17
	С повыш. звеном	1.10	0.85	0.68	5.45	1.440	0.24	0.0104	2.35	0.31
0.75	Без повыш. звена		1.15	0.75	0.50	1.520	0.37	0.0087	1.66	0.51
			1.10	0.70	0.47	1.470	0.34	0.0087	1.61	0.46
			1.05	0.65	0.43	1.410	0.32	0.0081	1.56	0.41
			1.00	0.60	0.40	1.360	0.29	0.0082	1.51	0.37
			0.95	0.55	0.37	1.300	0.26	0.0083	1.46	0.32
			0.90	0.50	0.33	1.230	0.24	0.0077	1.41	0.28
			0.85	0.45	0.30	1.180	0.21	0.0080	1.36	0.23
	С повыш. звеном	1.55	1.15	1.13	0.75	1.860	0.55	0.0107	3.40	0.91
		1.50	1.10	1.05	0.70	1.800	0.51	0.0104	3.35	0.83
		1.45	1.05	0.97	0.65	1.730	0.47	0.0101	3.30	0.75
		1.40	1.00	0.90	0.60	1.660	0.44	0.0095	3.25	0.66
		1.35	0.95	0.82	0.55	1.590	0.40	0.0092	3.25	0.58
		1.30	0.90	0.75	0.50	1.520	0.36	0.0090	3.20	0.49
		1.25	0.85	0.68	0.45	1.440	0.32	0.0088	3.15	0.41
1.00	Без повыш. звена		1.30	0.90	0.60	1.660	0.58	0.0077	1.82	0.87
			1.25	0.85	0.57	1.620	0.55	0.0076	1.77	0.80
			1.20	0.80	0.53	1.560	0.52	0.0072	1.72	0.73

Отверстия труб.	Типы труб.	Высота трубы от дна лотка до ключа саж.		Высота подпорного гориз. от дна лотка саж.	Высота протекающего слоя воды саж.	Скорость протекания воды в саж.	Площадь живого сечения кв. саж.	Наименьший уклон трубы i.	Наименьшая высота насыпи саж.	Расход пропускаемый трубой куб. саж.
		Пов. звено.	Норм. звено.							
1.00	Без повыш. звена.....		1.15	0.75	0.50	1.520	0.48	0.0073	1.67	0.66
			1.10	0.70	0.47	1.470	0.45	0.0072	1.62	0.59
	С повыш. звеном.....	1.75	1.30	1.32	0.90	2.030	0.84	0.0098	3.60	1.54
		1.70	1.25	1.27	0.85	1.980	0.79	0.0096	3.55	1.42
		1.65	1.20	1.20	0.80	1.920	0.74	0.0094	3.50	1.29
		1.60	1.15	1.12	0.75	1.860	0.69	0.0091	3.45	1.17
		1.55	1.10	1.05	0.70	1.800	0.64	0.0090	3.40	1.04
		1.50	1.05	1.98	0.65	1.730	0.59	0.0087	4.35	0.92
	Без повыш. звена.....		1.55	1.15	0.77	1.880	0.91	0.0075	2.09	1.54
			1.50	1.10	0.73	1.830	0.87	0.0073	2.04	1.44
			1.45	1.05	0.70	1.800	0.82	0.0074	1.99	1.35
			1.40	1.00	0.67	1.750	0.78	0.0072	1.94	1.25
			1.35	0.95	0.63	1.700	0.74	0.0070	1.89	1.16
			1.30	0.90	0.60	1.660	0.70	0.0070	1.84	1.06
			1.25	0.85	0.57	1.620	0.65	0.0071	1.79	0.97
			1.20	0.80	0.53	1.560	0.61	0.0068	1.74	0.87
1.25	С повыш. звеном.....	2.05	1.55	1.62	1.08	2.228	1.23	0.0098	4.50	2.47
		2.00	1.50	1.55	1.03	2.177	1.17	0.0091	4.45	2.30
		1.95	1.45	1.47	1.98	2.123	1.10	0.0090	4.40	2.12
		1.90	1.40	1.40	1.93	2.070	1.04	0.0089	4.35	1.95
		1.85	1.35	1.32	0.88	2.010	0.97	0.0088	4.30	1.77
		1.80	1.30	1.25	0.83	2.950	0.91	0.0086	4.25	1.60

Отверстия труб.	Типы труб.	Высота трубы от звена.		Высота подпорного гориз. от дна лотка саж.	Высота протекающего слоя воды саж.	Скорость протекания воды в саж.	Площадь живого сечения кв. саж.	Наименьший уклон трубы i.	Наименьшая высота насыпи саж.	Р расход пропускаемый трубой кв. саж.
		Пов. звено.	Норм. звено.							
1.50	Без повыш. звена		1.60	1.20	0.80	1.920	1.10	0.0071	2.18	1.89
			1.55	1.15	0.77	1.880	1.04	0.0071	2.13	1.77
			1.50	1.10	0.73	1.830	0.98	0.0070	2.08	1.65
			1.45	1.05	0.70	1.800	0.93	0.0071	2.03	1.54
	С повыш. звеном	2.15	1.60	1.62	1.08	2.228	1.45	0.0083	4.60	2.90
		2.15	1.55	1.55	1.03	2.177	1.37	0.0082	4.55	2.68
		2.05	1.50	1.47	0.98	2.123	1.28	0.0082	4.50	2.47
	Без повыш. звена		1.85	1.41	0.94	2.080	1.52	0.0068	2.44	2.85
			1.80	1.37	0.91	2.050	1.46	0.0068	2.39	2.71
			1.75	1.34	0.89	2.020	1.41	0.0068	2.34	2.57
			1.70	1.30	0.87	2.000	1.35	0.0069	2.29	2.43
			1.65	1.25	0.83	1.950	1.29	0.0067	2.24	2.29
			1.60	1.20	0.80	1.920	1.24	0.0067	2.19	2.15
			1.55	1.15	0.77	1.880	1.18	0.0067	2.14	2.00
1.75	С повыш. звеном	2.15	1.85	1.62	1.08	2.228	1.72	0.0073	4.45	3.46
		2.10	1.80	1.55	1.03	2.177	1.65	0.0071	4.40	3.23
		2.05	1.75	1.47	0.98	2.123	1.57	0.0070	4.35	3.00

Отверстия труб.	Типы труб.	Высота трубы от аэроно. дна лотка до Норм. звено. ключа саж.		Высота подпорного гориз. от дна лотка саж.	Высота протекающего слоя воды саж.	Скорость протекания воды в саж.	Площадь живого се- чения кв. саж.	Наименьший уклон трубы i.	Наименьшая высота насыпи саж.	Расход пропускаемый трубой кв. саж.
		Пов. звено.	Норм. звено.							
2.00	Без повыш. звена		2.12	1.62	1.08	2.228	1.97	0.0070	2.65	3.96
			2.07	1.59	1.06	2.208	1.91	0.0067	2.60	3.80
			2.02	1.55	1.03	2.177	1.88	0.0066	2.55	3.64
			2.97	1.51	1.01	2.156	1.79	0.0068	2.50	3.47
2.25	С повыш. звеном		2.12	1.62	1.08	2.228	2.17	0.0064	2.68	4.36
			2.07	1.59	1.06	2.208	2.12	0.0064	2.63	4.20
			2.02	1.55	1.03	2.177	2.06	0.0063	3.58	4.04
2.50	Без повыш. звена		2.12	1.62	1.08	2.228	2.42	0.0060	2.71	4.85
			2.07	1.59	1.06	2.208	2.35	0.0060	2.66	4.65
			2.02	1.55	1.03	2.177	2.27	0.0060	2.61	4.45
2.75	С повыш. звеном		2.12	1.62	1.08	2.228	2.63	0.0058	2.74	5.27
			2.07	1.59	1.06	2.208	2.55	0.0058	2.69	5.06
			2.02	1.55	1.03	2.177	2.47	0.0058	2.64	4.35
3.00	Без повыш. звена		2.12	1.62	1.08	2.228	2.85	0.0056	2.77	5.73
			2.07	1.59	1.06	2.208	2.76	0.0056	2.72	5.50
			2.02	1.55	1.03	2.177	2.67	0.0056	2.67	5.27

М О С Т.

Окончательно приняты.

Верста _____

Открытие _____ саж.

Пикет _____

Пролетное строение _____

Укрепление дна _____

Высота насыпи над дном

Отметки { Подлорн. горизонта _____
Бровки полотна _____
Обреза фундамента _____

русла _____ саж.

Высота насыпи от обреза фундамента _____ саж.

Название водотока _____

Высота насыпи от дна лотка _____ саж.

Площадь бассейна $S =$ _____ кв. верст.

Длина „ $L =$ _____ „

Средний уклон тальвега от водораздела до сооружения $I =$ _____

Уклон лога на протяжении _____ саж.
выше сооружения $i_0 =$ _____

Поперечный профиль русла у сооружения.

Наибольший расход воды по формуле Николаи-Кестляна:

$$Q_1 = 1,875 a \beta S = 1,875 \times \text{---} \times \text{---} \times \text{---} = \frac{\text{куб. саж.}}{\text{сек.}}$$

Подбирая по расходу Q_1 горизонт притекающей воды, получим его отметку _____, глубину притекающей воды $a =$ _____, площадь живого сечения

$$S = \text{---}$$

Подводный периметр $p =$ _____

Подводный радиус $R = \frac{\Omega}{p} =$ _____ саж.

Средняя скорость притекания по формуле Дарси-Базена (c_1 определяется по таблице № 4, а значение $\sqrt{i^0}$ по таблице № 5).

$V_0 = c \sqrt{R i_0} = c_1 \sqrt{i_0} =$ _____ \times _____ = _____ $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$

Расход воды $\Omega V_0 =$ _____ \times _____ = _____ $\frac{\text{куб. саж.}}{\text{сек.}}$ мало

разнится от расхода Q_1 , определенного по формуле Николаи-Кестлина, а потому найденный горизонт воды правилен.

По таблице № 1 подбираем по данному расходу Q_1 отверстие моста $b =$ _____ саж., наблюдая при этом, чтобы соответствующая табличная высота подпора y_0 была не менее величины.

$a + \frac{V_0^2}{2g} =$ _____ $+ \frac{\quad}{9,2} =$ _____ саж. (см.

примечание в конце).

Примечание. В случае, если величина $a + \frac{V_0^2}{2g}$ более чем $y_0 (max) = 1,616$ саж. (см. таблицу № 3),

отверстие моста по расходу Q определяется по формуле

$b = \frac{Q}{\mu a V} =$ _____ \times _____ \times _____ = _____ саж.,

где скорость V внутри сооружения должна быть

$\leq 2,23 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$

Так как при выбранной скорости V высота подпора, определенная по формуле

$g = a + \frac{V^2 - V_0^2}{2g} =$ _____ $+ \frac{\quad}{9,2} =$ _____ саж.,

не превышает допускаемую, то отверстие $b =$ _____ саж. достаточно.

ТАБЛИ
для подбора

Средняя скорость в соору- жении v .	Высота подпорн. гориз. воды над дном лотка h_0 при скор. воды притек. к сооруж., $U_0 = 0$.	1.00 саж.		2.00 саж.		3.00 саж.	
		Наиболь- ший расход воды.	Наименьш. до- пуск. высота бровки полотна над дном лотка.	Наиболь- ший расход воды.	Наименьш. до- пуск. высота бровки полотна над дном лотка.	Наиболь- ший расход воды.	Наименьш. до- пуск. высота бровки полотна над дном лотка.
Саж./сек.	Саж.	Кб. с./сек.	Саж.	Кб. с./сек.	Саж.	Кб. с./сек.	Саж.
0.714	0.166	0.068	0.786	0.136	0.866	0.205	0.956
0.750	0.183	0.079	0.803	0.158	0.883	0.237	0.973
0.857	0.239	0.118	0.859	0.236	0.939	0.354	1.029
0.875	0.249	0.126	0.869	0.252	0.949	0.378	1.039
1.000	0.325	0.188	0.945	0.376	1.025	0.564	1.115
1.125	0.413	0.267	1.033	0.534	1.113	0.801	1.203
1.143	0.425	0.280	1.045	0.560	1.125	1.840	1.215
1.250	0.508	0.366	1.128	0.732	1.208	1.098	1.298
1.285	0.537	0.398	1.157	0.796	1.237	1.194	1.327
1.375	0.616	0.487	1.236	0.974	1.316	1.461	1.406
1.429	0.662	0.547	1.282	1.094	1.362	1.641	1.452
1.500	0.732	0.633	1.352	1.266	1.432	1.899	1.522
1.571	0.803	0.727	1.423	1.454	1.503	2.171	1.593
1.625	0.860	0.806	1.480	1.612	1.560	2.418	1.650
1.714	0.956	0.944	1.576	1.888	1.656	2.832	1.746
1.750	0.998	1.005	1.618	2.010	1.698	3.015	1.788
1.857	1.122	1.201	1.742	2.402	1.822	3.603	1.912
1.875	1.145	1.236	1.765	2.472	1.845	3.708	1.935
2.000	1.302	1.5 0	1.922	3.000	2.002	4.500	2.092
2.125	1.470	1.799	2.090	3.598	2.170	5.397	2.260
2.143	1.495	1.845	2.115	3.691	2.195	5.536	2.285
2.230	1.616	2.079	2.236	4.159	2.236	6.237	2.406

Примечание. Для мостов отверстием от 1.00 саж. включительно
няты фермы железные.

Ц А № 1.

верстий мостов.

4.00 саж.		5.00 саж.		6.00 саж.		Род укрепления дна (более подробно см. таблицу № 9).
наиболь- ший расход воды.	Наименьш. до- пуск. высота бровки полотна над дном лотка.	наиболь- ший расход воды.	Наименьш. до- пуск. высота бровки полотна над дном лотка.	наиболь- ший расход воды.	Наименьш. до- пуск. высота бровки полотна над дном лотка.	
Кб. с./сек.	Саж.	Кб. с./сек.	Саж.	Кб. с./сек.	Саж.	
0.273	1.106	0.341	1.206	0.410	1.396	Без укрепления русла при плотном глинистом грунте.
0.316	1.123	0.395	1.223	0.474	1.413	
0.472	1.179	0.590	1.279	0.708	1.469	
0.503	1.189	0.628	1.289	0.754	1.479	
0.750	1.265	0.938	1.365	1.125	1.555	
1.068	1.353	1.340	1.453	1.602	1.643	Одиночная мостовая.
1.120	1.365	1.400	1.465	1.680	1.655	
1.464	1.448	1.830	1.548	2.196	1.738	
1.592	1.477	1.990	1.577	2.388	1.767	
1.958	1.556	2.440	1.656	2.922	1.846	
2.188	1.602	2.740	1.702	3.282	1.892	Двойная мостовая.
2.52	1.672	3.170	1.772	3.798	1.962	
2.908	1.743	3.640	1.843	4.342	2.033	
3.224	1.800	4.030	1.900	4.836	2.090	
3.776	1.896	4.720	1.996	5.664	2.186	
4.020	1.938	5.024	2.038	6.030	2.228	Каменный лоток.
4.804	2.062	6.000	2.162	7.206	2.352	
4.944	2.085	6.180	2.185	7.416	2.375	
6.000	2.242	7.500	2.342	9.000	2.532	
7.196	2.410	8.996	2.510	10.796	2.700	
7.381	2.435	9.927	2.535	11.072	2.725	
8.316	2.556	10.395	2.656	12.474	2.840	

Фермы приняты железобетонные, а для мостов отверстием более 5.00 саж. при-

ТАБЛИЦА № 2

для подбора отверстий каменных труб с коробовыми сводами.

Средняя скорость в сооружении v .	Высота подпорного горизонта над дном лотка H_0 при скорости воды, притек. к сооружению $V_0 = 0$.	Расход воды.	Отверстие трубы.		Наименьшая допустимая высота бровки полотна над дном лотка трубы.
			Номинально.	Точно по обрезу фундамента для входного звена.	
Саж./сек.	Саж.	Куб. с./сек.	Саж.	Саж.	Саж.
1.180	0.45	0.17	0.50	0.546	1.31
1.180	0.45	0.23	0.75	0.762	1.31
1.440	0.68	0.31	0.50	0.546	1.62
1.520	0.75	0.61	0.75	0.740	1.61
1.590	0.82	0.58	0.75	0.828	2.03
1.520	0.75	0.66	1.00	1.016	1.62
1.660	0.90	0.87	1.00	1.000	1.77
1.860	1.13	0.91	0.75	0.744	2.23
1.620	1.85	0.97	1.25	1.250	1.74
1.800	1.05	1.04	1.00	1.064	2.15
2.030	1.32	1.54	1.00	0.994	2.35
1.880	1.15	1.54	1.25	1.250	2.04
1.830	1.10	1.65	1.50	1.496	2.03
2.010	1.32	1.77	1.25	1.308	2.47
1.920	1.20	1.89	1.50	1.500	2.13
1.880	1.15	2.00	1.75	1.720	2.09
2.230	1.62	2.47	1.25	1.250	2.67
2.177	1.55	2.68	1.50	1.512	2.74
2.080	1.41	2.85	1.75	1.750	2.39
2.230	1.62	2.90	1.50	1.500	2.79
2.123	1.47	3.00	1.75	1.764	2.58
2.230	1.62	3.46	1.75	1.750	2.68
2.177	1.55	3.64	2.00	1.994	2.53
2.208	1.59	3.80	2.00	1.998	2.58
2.230	1.62	3.96	2.00	2.000	2.63
2.177	1.55	4.04	2.25	2.232	2.56
2.208	1.59	4.20	2.25	2.242	2.61
2.230	1.62	4.36	2.25	2.250	2.66
2.177	1.55	4.45	2.50	2.474	2.61
2.208	1.59	4.65	2.50	2.488	2.66
2.230	1.62	4.85	2.50	2.500	2.71
2.208	1.59	5.06	2.75	2.734	2.70
2.230	1.62	5.27	2.75	2.750	2.75
2.208	1.59	5.60	3.00	2.980	2.74
2.230	1.62	5.73	3.00	3.000	2.79

ПРИМЕЧАНИЕ.

Труба без повышенного звена.
 " без повыш. звена, срез. на 0.30 с.
 " с повышенным звеном.
 " без повышенного звена.
 " с повыш. звен., срез. на 0.20 с.
 " без повыш. звена, срез. на 0.15 с.
 " без повышенного звена.
 " с повышенным звеном.
 " без повыш. звена, срез. на 0.30 с.
 " с повыш. звеном, срез. на 0.20 с.
 " с повышенным звеном.
 " без повышенного звена.
 " без повыш. звена, срез. на 0.10 с.
 " с повыш. звеном, срез. на 0.20 с.
 " без повышенного звена.
 " без повыш. звена, срез. на 0.30 с.
 " с повышенным звеном.
 " с повыш. звеном, срез. на 0.05 с.
 " без повышенного звена.
 " с повышенным звеном.
 " с повыш. звеном, срез. на 0.10 с.
 " с повышенным звеном.
 " без повыш. звена, срез. на 0.10 с.
 " без повыш. звена, срез. на 0.05 с.
 " без повышенного звена.
 " без повыш. звена, срез. на 0.10 с.
 " без повыш. звена, срез. на 0.05 с.
 " без повышенного звена.
 " без повыш. звена, срез. на 0.05 с.
 " без повышенного звена.
 " без повыш. звена, срез. на 0.05 с.

Второй и третий десятичный знак R .

Т А Б Л И Ц А № 4

Для определения скорости притекания воды к сооружению, заключающая в себе величины первого множителя $c_1 = c\sqrt{R}$.

R в см.	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
0.000	0.000	4.940	9.230	13.041	16.482	19.631	22.543	25.256	27.804	30.208	32.489	34.662	36.739	38.731	40.647
0.005	0.266	5.167	9.431	13.221	16.646	19.782	22.683	25.387	27.927	30.325	32.600	34.768	36.840	38.828	40.740
0.010	0.530	5.395	9.631	13.400	16.809	19.932	22.822	25.518	28.050	30.442	32.711	34.874	36.942	38.926	40.834
0.015	0.792	5.618	9.831	13.578	16.972	20.082	22.961	25.648	28.173	30.558	32.821	34.917	37.043	39.023	40.928
0.020	1.051	5.844	10.027	13.756	17.134	20.231	23.100	25.778	28.295	30.674	32.932	35.085	37.144	39.120	41.021
0.025	1.309	6.066	10.223	13.932	17.295	20.380	23.239	25.908	28.417	30.789	33.041	35.190	37.244	39.216	41.115
0.030	1.564	6.286	10.418	14.108	17.455	20.528	23.376	26.037	28.539	30.905	33.152	35.295	37.345	39.313	41.206
0.035	1.817	6.503	10.612	14.283	17.615	20.676	23.513	26.166	28.661	31.019	33.261	35.399	37.446	39.410	41.300
0.040	2.069	6.723	10.805	14.457	17.774	20.822	23.650	26.294	28.787	31.134	33.370	35.504	37.545	39.526	41.393
0.045	2.318	6.936	10.997	14.630	17.932	20.968	23.787	26.422	28.902	31.251	33.479	35.607	37.645	39.602	41.486
0.050	2.565	7.154	11.187	14.802	18.090	21.114	23.922	26.549	29.022	31.363	33.588	35.712	37.745	39.698	41.578
0.055	2.810	7.368	11.378	14.974	18.246	21.259	24.056	26.676	29.142	31.476	33.609	35.815	37.845	39.793	41.667
0.060	3.055	7.581	11.566	15.145	18.403	21.404	24.192	26.803	29.262	31.590	33.805	35.919	37.944	39.889	41.762
0.065	3.296	7.791	11.754	15.315	18.560	21.542	24.327	26.929	29.382	31.704	33.913	36.022	38.043	39.982	41.854
0.070	3.536	8.000	11.940	15.484	18.714	21.692	24.461	27.055	29.501	31.817	34.021	36.125	38.142	40.079	41.946
0.075	3.775	8.208	12.126	15.652	18.869	21.836	24.595	27.182	29.619	31.929	34.128	36.229	38.240	40.174	42.037
0.080	4.011	8.415	12.310	15.819	19.022	21.977	24.728	27.306	29.738	32.042	34.235	36.331	38.339	40.269	42.129
0.085	4.246	8.621	12.495	15.986	19.175	22.120	24.860	27.431	29.853	32.153	34.349	36.434	38.437	40.366	42.220
0.090	4.479	8.825	12.677	16.152	19.328	22.261	24.993	27.556	29.973	32.266	34.449	36.535	38.535	40.458	42.311
0.095	4.709	9.029	12.860	16.318	19.481	22.402	25.125	27.681	30.091	32.379	34.555	36.637	38.635	40.550	42.403

ТАБЛИЦА № 5

для определения скорости притекания воды к сооружению, заключающая в себе величины второго

множителя $\sqrt{i_0}$.

i_0	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	i_0
0.000	0.000	0.010	0.014	0.017	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.000
0.001	0.031	0.033	0.034	0.036	0.037	0.038	0.040	0.041	0.042	0.043	0.001
0.002	0.044	0.045	0.046	0.047	0.048	0.050	0.050	0.051	0.052	0.053	0.002
0.003	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.060	0.061	0.063	0.003
0.004	0.063	0.064	0.064	0.065	0.066	0.067	0.067	0.068	0.069	0.070	0.004
0.005	0.070	0.071	0.072	0.072	0.073	0.074	0.074	0.075	0.076	0.076	0.005
0.006	0.077	0.078	0.078	0.079	0.080	0.080	0.081	0.081	0.082	0.083	0.006
0.007	0.083	0.084	0.084	0.085	0.086	0.086	0.087	0.087	0.088	0.088	0.007
0.008	0.089	0.090	0.090	0.091	0.091	0.092	0.092	0.093	0.093	0.094	0.008
0.009	0.094	0.095	0.095	0.096	0.096	0.097	0.097	0.098	0.098	0.099	0.009
0.010	0.100	0.100	0.100	0.101	0.101	0.102	0.102	0.103	0.103	0.104	0.010
0.011	0.104	0.105	0.105	0.106	0.106	0.107	0.107	0.108	0.108	0.109	0.011
0.012	0.109	0.110	0.110	0.110	0.111	0.111	0.112	0.112	0.113	0.113	0.012
0.013	0.114	0.114	0.114	0.115	0.115	0.116	0.116	0.117	0.117	0.117	0.013
0.014	0.118	0.118	0.119	0.119	0.120	0.120	0.120	0.121	0.121	0.122	0.014
0.015	0.122	0.123	0.124	0.124	0.125	0.125	0.125	0.126	0.126	0.127	0.015

НАСТАВЛЕНИЕ

к производству работ по замене деревянных мостов постоянными сооружениями без обходных путей.

1. При производстве работ по замене деревянного моста постоянным сооружением без обходного пути неизбежно удаление той или другой части существующего моста, что, очевидно, вызывает ослабление его; является, поэтому, необходимость в применении во время работ тех или других мер и средств для обеспечения надлежащей прочности заменяемого сооружения.

При этом и вновь возводимое сооружение не должно пострадать как в отношении формы и полноты размеров, так и в отношении качества кладки.

В настоящем наставлении излагаются основные руководящие положения, которыми надлежит пользоваться при указанных работах, а на прилагаемых чертежах показаны примеры укрепления деревянных мостов и порядок производства работ в различных частных случаях переустройства деревянных мостов.

2. Оставление свай в кладке — вызывается желанием ограничиться возможно меньшим количеством удаляемых частей деревянного моста, имеющих существенное значение в прочности и устойчивости его.

а) В кладке фундамента мостовых устоев и труб могут быть оставляемы как все коренные, так и подкосные сваи.

б) В кладке устоев мостов могут быть оставляемы только коренные сваи и в том только случае, если расстояние оставляемой сваи до какой-либо наружной грани кладки не менее 0,30 саж., а до грани, ограничивающей

пролет моста, — не менее 0,50 саж.; в кладке же сводов труб оставление свай никоим образом не допускается.

в) Не все коренные сваи одного ряда можно оставлять в кладке устоев, а лишь две наружные или внутренние.

г) Вокруг свай, оставляемой в кладке сооружения и его фундамента, должен быть оставлен свободный промежуток, отделяющий сваю от кладки, размером не менее 1 сотки сажени. Между верхним торцом такой сваи по ее срезке и кладкой может быть оставлен свободный промежуток не менее 0,10 саж., чтобы при осадке грунта под устоем торец сваи не упирался в кладку и тем не вызвал в ней трещин (черт. А).

3. Пользование вновь возведенною кладкою для расположения на ней вспомогательных опор и подпорок деревянных мостов допускается лишь по истечении следующих сроков со дня окончания кладки:

а) Для кладки фундамента — не раньше одной недели.

б) Для кладки устоев — не раньше двух недель,

в) Для кладки сводов труб — не раньше четырех недель.

4. Укрепление конусов — при рытье котлована, если последний близко подходит к концу деревянного моста, — производится при помощи пластин, забираемых за сваи. Высота подпорной стенки из пластин у каждой свайной опоры не должна превосходить 0,5 саж. Уклон ската конуса не должен быть круче 1: 1.

При этом разрытие из конуса сваи необходимо скрепить продольными схватками (а) и временными подкосами (черт. Б).

5. Пользование вспомогательными опорами. — Для поддержания прогонов может представиться необходимость поставить временные опоры в виде трапециевидной рамы со стойками и подкосами (см. черт. Б, Ж, К, Н, Т, У).

Подобные опоры передают давление на грунт при помощи лежней. Очевидно, их можно располагать на грунте непосредственно только в случае хорошего грунта, наприм., плотной глины, слежавшейся земли, слежавшегося песка и т. п. *). В тех-же случаях, когда грунт недостаточно плотен, вспомогательные опоры следует располагать на кладке фундамента, для чего соответственная часть последнего должна быть возведена раньше остальных частей (но

*) При чем под поперечными лежнями следует укладывать сплошь настилку из пластин, выступающих за пределы лежней с каждой стороны на 0,20 саж.

всё-же без нарушения связности кладки), чтобы сократить по возможности время выжидания затвердевания кладки (1 неделя).

6. Не менее важно, чтобы вырытые котлованы, укреплялись возможно тщательнее, для чего вдоль стены котлована должны закладываться доски с некоторыми промежутками, смотря по грунту, и расpirаться распорками, поставленными не реже, как через 1,00 саж., достаточной толщины.

Все временно поставленные части моста должно заменять другими, по прочности нисколько не уступающими замененным.

8. За всеми временными укреплениями должен быть установлен тщательный технический надзор, на обязанности которого, между прочим, должно находиться подкрепление ослабевающих подкладок, клиньев, болтов и проч.

9. В местах, где на кладку потребуется передать давление ранее полного ее затвердения, состав цементного раствора следует усиливать.

10. Движение по мосту, у которого некоторые части заменены временными, а равно во время рытья котлована и производства кладки, должно производиться с проводником, о чем должно даваться предупреждение установленным порядком.

11. Местные агенты службы пути, как-то: дорожные мастера, артельные старосты, ремонтные рабочие, путевые сторожа, должны особенно тщательно следить за состоянием пути, как на мосту, так равно и на земляном полотне вблизи его и, в случае, если окажутся какие-либо отклонения от нормального его состояния, немедленно принимать меры по исправлению пути, а равно требовать от местного технического надзора по производству работ принять меры к устранению причин, вызвавших нарушение правильности пути, а в случае явной опасности для движения поездов ограждать место работ сигналами остановок и о случившемся дорожные мастера должны немедленно довести до сведения начальника дистанции, его помощника и старшего дорожного мастера, где таковой имеется.

Уклон i	\sqrt{i}	Ширина кюавы по дну $a = 0.30$ саж.					
		$\omega = 0.045$ глубина воды $h = 0.10$.		$\omega = 0.120$ глубина воды $h = 0.20$.		$\omega = 0.225$ глубина воды $h = 0.30$.	
		Q саж. 3	V саж. в 1 сек.	Q саж. 3	V саж. в 1 сек.	Q саж. 3	V саж. в 1 сек.
0.001	0.032	0.005	0.11	0.015	0.18	0.06	0.25
0.002	0.045	0.006	0.16	0.031	0.26	0.08	0.35
0.003	0.055	0.007	0.19	0.041	0.31	0.10	0.42
0.004	0.063	0.009	0.22	0.043	0.36	0.11	0.48
0.005	0.071	0.010	0.25	0.049	0.41	0.12	0.55
0.006	0.078	0.011	0.28	0.053	0.45	0.13	0.60
0.007	0.084	0.012	0.30	0.058	0.48	0.14	0.65
0.008	0.089	0.014	0.31	0.061	0.51	0.15	0.68
0.009	0.095	0.015	0.33	0.065	0.54	0.16	0.73
0.010	0.100	0.016	0.35	0.070	0.57	0.17	0.77
0.015	0.123	0.020	0.43	0.08	0.70	0.21	0.94
0.020	0.141	0.022	0.50	0.10	0.81	0.24	1.08
0.030	0.173	0.027	0.61	0.12	0.99	0.30	1.33
0.040	0.200	0.032	0.71	0.14	1.14	0.35	1.54
0.050	0.224	0.036	0.79	0.15	1.28	0.39	1.72
0.060	0.245	0.039	0.87	0.17	0.40	0.43	1.89
0.070	0.265	0.042	0.94	0.18	0.52	0.46	2.01
0.080	0.283	0.045	1.00	0.19	0.62	0.49	2.18
0.090	0.300	0.048	1.06	0.21	1.71	0.52	2.30
0.100	0.320	0.051	1.13	0.22	1.82	0.55	2.45

Уклон i	Ширина канавы по дну $a = 0,50$ с.					
	$\omega = 0.160$ глубина воды $h = 0.20$.		$\omega = 0.285$ глубина воды $h = 0.30$.		$\omega = 0.440$ глубина воды $h = 0.40$	
	Q сая. з.	V сая. в 1 сек.	Q сая. з.	V сая. в 1 сек.	Q сая. з.	V сая. в 1 сек.
0.001	0.03	0.20	0.08	0.27	0.14	0.33
0.002	0.04	0.28	0.11	0.38	0.20	0.46
0.003	0.05	0.35	0.13	0.46	0.25	0.56
0.004	0.06	0.40	0.15	0.53	0.28	0.65
0.005	0.07	0.45	0.17	0.60	0.32	0.73
0.006	0.08	0.49	0.19	0.66	0.35	0.80
0.007	0.085	0.53	0.20	0.71	0.38	0.86
0.008	0.09	0.56	0.21	0.74	0.40	0.91
0.009	0.095	0.60	0.23	0.80	0.43	0.97
0.010	0.10	0.63	0.24	0.84	0.45	1.02
0.015	0.12	0.77	0.29	1.03	0.55	1.26
0.020	0.14	0.89	0.34	1.19	0.64	1.44
0.030	0.17	1.09	0.41	1.44	0.77	1.76
0.040	0.20	1.26	0.48	1.68	0.90	2.05
0.050	0.22	1.41	0.54	1.88	1.01	2.30
0.060	0.25	1.54	0.59	2.06	1.10	2.51
0.070	0.27	1.67	0.64	2.23	1.20	2.72
0.080	0.28	1.78	0.68	2.38	1.28	2.90
0.090	0.30	1.89	0.72	2.52	1.35	3.08
0.100	0.32	2.02	0.76	2.65	—	—

Ширина канавы по дну $a=0.75$ с.

Уклон i .	Ширина канавы по дну $a=0.75$ с.					
	$\omega = 0.21$ глубина воды $h = 0.20$.		$\omega = 0.36$ глубина воды $h = 0.30$.		$\omega = 0.54$ глубина воды $h = 0.40$.	
	Q саж. з.	V саж. в 1 сек.	Q саж. з.	V саж. в 1 сек.	Q саж. з.	V саж. в 1 сек.
0.001	0.04	0.22	0.10	0.29	0.19	0.35
0.002	0.06	0.31	0.15	0.41	0.27	0.49
0.003	0.08	0.38	0.18	0.50	0.33	0.61
0.004	0.09	0.43	0.21	0.57	0.38	0.70
0.005	0.10	0.48	0.23	0.64	0.42	0.78
0.006	0.11	0.53	0.25	0.71	0.46	0.86
0.007	0.12	0.57	0.27	0.76	0.50	0.93
0.008	0.13	0.61	0.29	0.81	0.53	0.99
0.009	0.14	0.65	0.31	0.86	0.57	1.05
0.010	0.15	0.68	0.33	0.91	0.60	1.11
0.015	0.18	0.84	0.40	1.12	0.74	1.37
0.020	0.20	0.96	0.46	1.28	0.85	1.57
0.030	0.25	1.18	0.57	1.57	1.04	1.92
0.040	0.29	1.36	0.65	1.82	1.20	2.22
0.050	0.32	1.52	0.73	2.04	1.34	2.49
0.060	0.34	1.63	0.80	2.23	1.47	2.72
0.070	0.38	1.80	0.87	2.41	1.59	2.94
0.080	0.40	1.97	0.93	2.57	1.70	3.14
0.090	0.43	2.04	0.98	2.73	—	—
0.1000	0.46	2.18	1.05	2.91	—	—

Уклон i .	Ширина канавы по дну $a = 1.00$ с.					
	$\omega = 0.435$ глубина воды $h = 0.30$.		$\omega = 0.640$ глубина воды $h = 0.40$.		$\omega = 0.875$ глубина воды $h = 0.50$.	
	Q саж. з.	V саж. в 1 сек.	Q саж. з.	V саж. в 1 сек.	Q саж. з.	V саж. в 1 сек.
0.001	0.13	0.31	0.22	0.37	0.38	0.43
0.002	0.19	0.43	0.34	0.52	0.53	0.61
0.003	0.23	0.53	0.41	0.64	0.65	0.74
0.004	0.26	0.60	0.47	0.73	0.74	0.85
0.005	0.30	0.68	0.53	0.83	0.84	0.96
0.006	0.33	0.75	0.58	0.91	0.92	1.05
0.007	0.35	0.81	0.63	0.98	0.99	1.13
0.008	0.37	0.85	0.66	1.04	1.05	1.20
0.009	0.40	0.91	0.71	1.11	1.12	1.28
0.010	0.42	0.96	0.75	1.17	1.18	1.35
0.015	0.51	1.18	0.92	1.43	1.45	1.66
0.020	0.59	1.35	1.04	1.63	1.66	1.90
0.030	0.72	1.66	1.29	2.02	2.05	2.34
0.040	0.84	1.92	1.50	2.34	2.36	2.70
0.050	0.94	2.15	1.68	2.62	2.64	3.02
0.060	1.02	2.35	1.84	2.87	—	—
0.070	1.10	2.55	1.98	3.09	—	—
0.080	1.18	2.71	—	—	—	—
0.090	1.25	2.88	—	—	—	—
0.100	1.34	3.07	—	—	—	—

Оглавление.

Предисловие.

Часть I.

Глава		Стран.
I.	Количество искусственных сооружений	6 — 18
II.	Расчет отверстий	19 — 67
III.	Отметка обреза фундамента. Выез сооружений. Отвод грунтовых вод. Расположение в плане	68 — 79
IV.	Фундаменты малых искусственных сооружений. Исследование грунта под основание. Влияние грунтов на проектирование сооружения	80 — 94
V.	Типы малых искусственных сооружений	95 — 131
VI.	Дефекты работ и материалы	131 — 146

Часть II.

VII.	Классификация поверхностных водоотводных устройств	149 —
VIII.	Водоотводы (канавы и продольные русла)	152 —
IX.	Водопроемы (поперечные русла)	172 — 1
X.	Водоотводные планировки	179 — 18
XI.	Защитные сооружения	187 — 204
XII.	Расчет канав и русел. Укрепление их. Защита от засорения. Особые типы канав и русел	204 — 218
Приложение № 1.	Расчет отверстия моста через реку Красную на 589-й версте линии Арзамас—Шухраи	219 — 224
№ 2.	Формула Лаутербурга	225 — 226
№ 3.	Таблица № 1.	227 — 228
№ 4.	Расчет № 4	229 — 233
№ 5.	Расчет отверстия каменной трубы	234 — 241
№ 6.	Мост	242 — 249
№ 7.	Наставление к производству работ по замене деревянных мостов постоянными сооружениями без обходных путей	250 — 252
№ 8.	253 — 256

